



**TUGAS AKHIR–EE 184801**

**RANCANG BANGUN ELEKTROKARDIOGRAF 12-LEADS UNTUK SISTEM PENGAWASAN KESEHATAN JANTUNG JARAK JAUH**

Gde Bayu Adityaputra  
NRP 07111440000112

Dosen Pembimbing  
Ir. Tasripan, M.T.  
Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**FINAL PROJECT–EE 184801**

**DESIGN OF 12-LEADS ELECTROCARDIOGRAPHY  
FOR REMOTELY CARDIAC HEALTHCARE  
MONITORING SYSTEM**

Gde Bayu Adityaputra  
NRP 07111440000112

Advisor  
Ir. Tasripan, M.T.  
Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

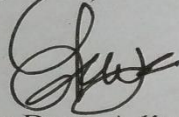


## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Rancang Bangun Elektrokardiograf 12-leads untuk Sistem Pengawasan Kesehatan Jantung Jarak Jauh**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 28 Januari 2019



Gde Bayu Adityaputra  
07111440000112

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

# **RANCANG BANGUN ELEKTROKARDIOGRAF 12-LEADS UNTUK SISTEM PENGAWASAN KESEHATAN JANTUNG JARAK JAUH**

## **TUGAS AKHIR**

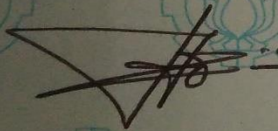
**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Bidang Studi Elektronika  
Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

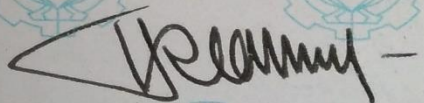
**Dosen Pembimbing 1,**



**Ir. Tasripan, M.T.**

**NIP. 196204181990031004**

**Dosen Pembimbing 2,**



**Dr. Tri Arief sardjono, S.T., M.T.**

**NIP. 197002121995121001**



.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



# **RANCANG BANGUN ELEKTROKARDIOGRAF 12-LEADS UNTUK SISTEM PENGAWASAN KESEHATAN JANTUNG JARAK JAUH**

**Nama** : Gde Bayu Adityaputra  
**Pembimbing 1** : Ir. Tasripan, M.T.  
**Pembimbing 2** : Dr. Tri Arief sardjono, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

Elektrokardiograf merupakan perangkat medis yang dapat merekam sinyal jantung. Hasil dari perekaman ini dinamakan elektrokardiogram (EKG). Dibutuhkan minimal 1 lead untuk monitoring sinyal EKG namun untuk memenuhi standar klinis diperlukan perangkat EKG yang mampu merekam sinyal dari 12 lead. Dalam perancangan EKG 12 lead ini digunakan teknik multipleksing. Kombinasi sadapan untuk membentuk masing-masing sinyal diatur oleh multiplekser 74HCT4051 dan mikrokontroler Arduino secara bergantian. Sinyal analog yang sudah melalui serangkaian pemrosesan secara analog kemudian dikonversi secara digital oleh ADC dengan frekuensi *sampling* 1KHz. Sinyal digital hasil konversi selanjutnya dikirimkan secara serial dengan *baudrate* 9600 menuju Raspberry Pi. Dari Raspberry Pi data-data tersebut kemudian ditransmisikan menuju database atau server. Tampilan sinyal EKG kemudian dapat dilihat sebagai grafik pada halaman website. Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa sistem secara keseluruhan bekerja dengan baik, dimana sinyal EKG lead I sampai lead V6 yang ditampilkan pada halaman *website* sesuai dengan pembacaan pada osiloskop dengan *error heart rate* pada rangkaian instrumentasi kurang dari 0.22%. Rangkaian filter analog yang dirancang memiliki *error*  $\pm 1\text{Hz}$  mampu meredam *noise* dengan baik. Namun, masih terdapat kekurangan pada sisi pengiriman data, dimana terjadinya data *losses* apabila menggunakan koneksi internet yang kurang cepat. Perangkat EKG 12 lead ini tidak dapat menampilkan 12 lead secara bersamaan, namun dapat menampilkannya secara berurutan.

Kata kunci: *Elektrokardiograf 12 Lead, Multipleksing, Internet of Things, Realtime Database, Mikrokontroler Arduino, Raspberry Pi.*

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

# **DESIGN OF 12-LEADS ELECTROCARDIOGRAPHY FOR REMOTELY CARDIAC HEALTHCARE MONITORING SYSTEM**

**Name** : Gde Bayu Adityaputra  
**Advisor 1** : Ir. Tasripan, M.T.  
**Advisor 2** : Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

*Electrocardiograph is a medical equipment that can record human heart's signal. Meanwhile, the result of recording the heart signal is electrocardiogram. At least a minimum of 1 lead is needed to monitor ECG signal, but to meet clinical standard, an ECG device that can record signals from 12 leads is needed. In designing the 12 leads ECG, multiplexing technique is used. The lead combination to form each signal is arranged by 74HCT4051 multiplexer and Arduino microcontroller. Heart signals then go through analog signal processing to amplify and filtering. ADC component in Arduino microcontroller is used to convert the analog signal to digital signal ( $f_s=1\text{KHz}$ ). The converted digital signal is then sent serially to Raspberry Pi using USB cable (baudrate 9600). From the Raspberry Pi signal data transmitted to the database or server. ECG signal then can be seen on the website page as a graph. The result show us that the overall system works well, where ECG signal from lead I to lead V6 displayed on the web page looks exactly same as seen on the oscilloscope with heart rate error in instrumentation circuit below 0.22%. The design of analog filter circuit has error about  $\pm 1\text{Hz}$  and capable of reducing noise properly. However, there are still failure in data transmission, where data losses happened when using low speed internet connection. This system can not display the ECG signals from 12 lead simultaneously, but can be displayed sequentially.*

**Keywords:** *Electrocardiography 12 Lead, Multiplexing, Internet of Things, Realtime Database, Arduino Microcontroller, Raspberry Pi.*

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat yang diberikan, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Elektrokardiograf 12-Leads untuk Sistem Pengawasan Kesehatan Jantung Jarak Jauh”**. Pembuatan tugas akhir ini ditujukan sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi sarjana program Strata-Satu di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selain itu, tugas akhir ini juga menjadi suatu kesempatan bagi penulis untuk mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama menempuh pendidikan sarjana demi kemajuan teknologi, khususnya dibidang elektronika biomedika.

Penulis tentu mendapatkan banyak bantuan serta doa dalam penyusunan dan penyelesaian laporan tugas akhir ini. Maka dari itu, dengan hormat dan rendah diri, penulis sampaikan terima kasih sebesar besarnya kepada:

1. Untuk keluarga penulis, terutama orang tua, kakak, dan adik saya yang tidak ada hentinya memberikan bantuan baik secara moral maupun material kepada penulis.
2. Kepada Bapak Ir. Tasripan, M.T. selaku dosen pembimbing pertama yang telah bersedia untuk mendidik, mengarahkan, dan memotivasi penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
3. Kepada Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan nasihat dan arahan serta sedikit waktunya sehingga penulis mampu untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Kepada Bapak Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D. sebagai dosen wali yang telah memotivasi serta mengarahkan penulis selama menempuh perkuliahan di bidang studi Elektronika.
5. Kepada Kepala Departemen Teknik Elektro dan seluruh dosen yang mengajar di Fakultas Teknologi Elektro khususnya pada bidang studi Elektronika yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama perkuliahan.
6. Teruntuk teman-teman mahasiswa bidang studi elektronika yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu dan memberikan semangat kepada penulis selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Elektro ITS.

7. Kepada teman-teman kosan J2 yang selalu memberikan semangat dan arahan serta menemani penulis selama berkuliah di ITS.

Akhir kata, besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan teknologi elektronika biomedika berikutnya. Oleh karena itu penulis menerima segala bentuk saran, masukan, ataupun kritik yang membangun demi terciptanya kesempurnaan dalam laporan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat serta inspirasi bagi banyak pihak

Surabaya, 28 Januari 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi .....	5
<b>BAB 2 DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Jantung .....	7
2.2.1 Anatomi dan Fisiologi Jantung .....	7
2.2.2 Biopotensial .....	10
2.2.3 Sinyal Jantung .....	12
2.2.4 Irama Jantung.....	14
2.2 Instrumentasi Sinyal Analog .....	15
2.2.5 Sadapan Elektrokardiogram.....	15
2.2.5.1 Sadapan Frontal .....	16
2.2.5.2 Sadapan Ekstrimitas Unipolar (Augmented Limb Lead) .....	17
2.2.5.3 Sadapan Precordial.....	17

2.2.6	Penguat Instrumentasi .....	19
2.2.6.1	Penguat Instrumentasi IC AD620 .....	21
2.2.7	Multiplekser IC 74HCT4051 .....	22
2.2.8	Rangkaian Penjumlah Tak Membalik .....	23
2.2.9	Filter Analog .....	24
2.2.9.1	High Pass Filter .....	25
2.2.9.2	Low Pass Filter .....	27
2.2.9.3	Band Stop Filter .....	29
2.3	Pemrosesan Sinyal Digital .....	32
2.3.1	Mikrokontroler Arduino .....	32
2.3.2	Mikroprosesor Raspberry Pi .....	34
2.3.3	Analog to Digital Converter (ADC) .....	35
2.3.4	Komunikasi Serial .....	36
2.4	Sistem Transmisi Data ke Internet .....	37
2.4.1	Internet .....	37
2.4.2	PHP .....	38
2.4.3	HTML .....	38
2.4.4	Firestore <i>Realtime Database</i> .....	39
<b>BAB 3</b>	<b>PERANCANGAN SISTEM .....</b>	<b>41</b>
3.1	Perancangan Perangkat Keras .....	42
3.1.1	Perancangan Elektrokardiograf (EKG) .....	42
3.1.1.1	Rangkaian Pemilih (Selector) .....	43
3.1.1.2	Rangkaian Wilson Central Terminal (WCT) .....	45
3.1.1.3	Rangkaian Penguat Instrumentasi .....	46
3.1.1.4	Perancangan High Pass Filter 0.05Hz .....	47
3.1.1.5	Perancangan Low Pass Filter 100Hz .....	49
3.1.1.6	Perancangan Band Stop Filter 50Hz .....	50



3.1.1.7	Perancangan Rangkaian Penjumlah (Adder).....	51
3.1.1.8	Perancangan Rangkaian Sumber dan Proteksi .....	53
3.2	Perancangan Perangkat Lunak.....	54
3.2.1	Perancangan <i>Analog to Digital Converter</i> (ADC) .....	55
3.2.2	Perancangan Komunikasi Serial dan Transmisi Data.....	55
3.2.3	Perancangan Sistem Monitoring Sinyal EKG.....	56
<b>BAB 4</b>	<b>PENGUJIAN DAN ANALISA.....</b>	<b>59</b>
4.1	Pengujian Perangkat Keras Elektrokardiograf (EKG) .....	59
4.1.1	Pengujian Penguat Instrumentasi .....	60
4.1.2	Pengujian <i>High Pass Filter</i> (HPF) .....	61
4.1.3	Pengujian <i>Low Pass Filter</i> (LPF) .....	63
4.1.4	Pengujian <i>Band Stop Filter</i> (BSF).....	65
4.1.5	Pengujian Rangkaian Penguat Tak Membalik .....	67
4.1.6	Pengujian Rangkaian Penjumlah ( <i>Adder</i> ).....	68
4.2	Pengujian Sistem Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) .....	69
4.2.1	Pengujian <i>Analog to Digital Converter</i> (ADC) .....	69
4.2.2	Pengujian Transmisi Data .....	72
4.2.3	Pengujian Monitoring Sinyal .....	75
4.2.4	Pengujian Perangkat EKG dengan ECG Simulator .....	79
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>83</b>
5.1	Kesimpulan.....	83
5.2	Saran.....	83
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>85</b>
<b>LAMPIRAN A</b> .....		<b>87</b>
<b>LAMPIRAN B</b> .....		<b>89</b>
<b>LAMPIRAN C</b> .....		<b>93</b>
<b>BIODATA PENULIS</b> .....		<b>121</b>

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Posisi jantung pada manusia .....	8
<b>Gambar 2.2</b> Anatomi jantung manusia .....	9
<b>Gambar 2.3</b> Siklus jantung.....	10
<b>Gambar 2.4</b> Proses terjadinya potesial aksi .....	11
<b>Gambar 2.5</b> Komponen nodus jantung .....	12
<b>Gambar 2.6</b> Morfologi sinyal jantung .....	13
<b>Gambar 2.7</b> Sinyal elektrokardiogram kompleks PQRST.....	13
<b>Gambar 2.8</b> Standar sinyal EKG 12 lead.....	13
<b>Gambar 2.9</b> Bentuk sinyal dan RR interval pada sinyal jantung .....	14
<b>Gambar 2.10</b> Segitiga Einthoven ( <i>Einthoven's Triangle</i> ) .....	16
<b>Gambar 2.11</b> Sadapan ekstrimitas unipolar ( <i>Augmented Limb Lead</i> )..	17
<b>Gambar 2.12</b> Sadapan <i>precordial</i> ( <i>Precordial Lead</i> ).....	18
<b>Gambar 2.13</b> Rangkaian Penguat Instrumentasi .....	19
<b>Gambar 2.14</b> Konfigurasi pin pada IC AD620 .....	22
<b>Gambar 2.15</b> Konfigurasi pin pada IC 74HCT4051 .....	22
<b>Gambar 2.16</b> Rangkaian penjumlah ( <i>adder</i> ).....	24
<b>Gambar 2.17</b> Rangkaian HPF +40dB/dec .....	26
<b>Gambar 2.18</b> Rangkaian LPF -40dB/dec.....	28
<b>Gambar 2.19</b> Rangkaian BSF -40dB .....	29
<b>Gambar 2.20</b> Mikrokontroler Arduino Due .....	33
<b>Gambar 2.21</b> Bentuk dari Raspberry Pi 3 model B .....	35
<b>Gambar 2.22</b> Diagram blok ADC pada SAM3X8E.....	35
<b>Gambar 2.23</b> Pengiriman data menggunakan komunikasi serial .....	37
<b>Gambar 2.24</b> Tampilan konsol pada <i>realtime database</i> Firebase .....	39
<b>Gambar 3.1</b> Diagram blok keseluruhan sistem .....	41
<b>Gambar 3.2</b> Diagram blok rangkaian EKG .....	42
<b>Gambar 3.3</b> Susunan dan konfigurasi pin IC 74HCT4051.....	43
<b>Gambar 3.4</b> Rangkaian filter sederhana .....	44
<b>Gambar 3.5</b> Skematik rangkaian WCT.....	45
<b>Gambar 3.6</b> Diagram blok pemrosesan sinyal elektrokardiogram.....	46
<b>Gambar 3.7</b> Skematik rangkaian penguat instrumentasi .....	47
<b>Gambar 3.8</b> Skematik rangkaian HPF.....	48
<b>Gambar 3.9</b> Respon frekuensi <i>High Pass Filter</i> .....	48
<b>Gambar 3.10</b> Skema rangkaian LPF.....	49
<b>Gambar 3.11</b> Respon frekuensi <i>Low Pass Filter</i> .....	50
<b>Gambar 3.12</b> Skematik rangkaian BSF .....	50
<b>Gambar 3.13</b> Respon frekuensi <i>Band Stop Filter</i> .....	51

<b>Gambar 3.14</b>	Skematik rangkaian penjumlah ( <i>adder</i> ).....	52
<b>Gambar 3.15</b>	Skematik rangkaian sumber tegangan .....	53
<b>Gambar 3.16</b>	Rangkaian pre filter, proteksi, dan <i>buffer</i> CA3240.....	54
<b>Gambar 3.17</b>	Diagram blok keseluruhan sistem perangkat lunak .....	54
<b>Gambar 3.18</b>	<i>Flowchart</i> transmisi data dari Raspberry Pi ke <i>server</i> .....	56
<b>Gambar 3.19</b>	Tampilan untuk halaman login .....	57
<b>Gambar 3.20</b>	Tampilan <i>realtime chart</i> saat tidak ada data .....	57
<b>Gambar 3.21</b>	Tampilan <i>realtime chart</i> saat diberi data sinyal sinus ....	58
<b>Gambar 3.22</b>	Tampilan halaman <i>chart</i> EKG ketika tidak ada data .....	58
<b>Gambar 3.23</b>	Tampilan halaman <i>chart</i> EKG diberi data sinyal sinus ..	58
<b>Gambar 4.1</b>	Realisasi rangkaian elektrokardiograf .....	59
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil pengujian <i>Instrumentation Amplifier</i> (AD620) .....	60
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik hasil pengujian rangkaian HPF .....	62
<b>Gambar 4.4</b>	Pengujian HPF ketika diberikan sinyal sinus 80mHz.....	62
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik hasil pengujian rangkaian LPF .....	64
<b>Gambar 4.6</b>	Pengujian LPF ketika diberikan sinus 99Hz dan 220Hz ..	64
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik hasil pengujian rangkaian BSF .....	65
<b>Gambar 4.8</b>	Pengujian BSF ketika diberikan sinyal sinus 50Hz .....	67
<b>Gambar 4.9</b>	Pengujian rangkaian penguat tak membalik .....	68
<b>Gambar 4.10</b>	Pengujian rangkaian penjumlah ( <i>adder</i> ) .....	68
<b>Gambar 4.11</b>	Hasil konversi sinyal sinus, <i>sawtooth</i> , dan kotak .....	69
<b>Gambar 4.12</b>	Sinyal sinus pada osiloskop.....	70
<b>Gambar 4.13</b>	Sinyal sinus hasil konversi ADC .....	71
<b>Gambar 4.14</b>	Perbandingan kualitas jaringan ITS dan Telkomsel .....	72
<b>Gambar 4.15</b>	Perbandingan transmisi data sinyal sinus 100Hz .....	73
<b>Gambar 4.16</b>	Perbandingan transmisi data sinyal EKG Lead 1 .....	74
<b>Gambar 4.17</b>	Lokasi penempatan elektroda pada pasien .....	75
<b>Gambar 4.18</b>	Perbandingan Lead I .....	76
<b>Gambar 4.19</b>	Perbandingan Lead II .....	76
<b>Gambar 4.20</b>	Perbandingan Lead III.....	77
<b>Gambar 4.21</b>	Perbandingan Lead aVF.....	77
<b>Gambar 4.22</b>	Perbandingan Lead aVL.....	77
<b>Gambar 4.23</b>	Perbandingan Lead aVR .....	77
<b>Gambar 4.24</b>	Perbandingan Lead V1 .....	78
<b>Gambar 4.25</b>	Perbandingan Lead V2.....	78
<b>Gambar 4.26</b>	Perbandingan Lead V3.....	78
<b>Gambar 4.27</b>	Perbandingan Lead V4.....	78
<b>Gambar 4.28</b>	Perbandingan Lead V5.....	79
<b>Gambar 4.29</b>	Perbandingan Lead V6.....	79

**Gambar 4.30** Hasil akuisisi Lead 1 untuk 30bpm(a), 60bpm(b), 120bpm(c), dan 180bpm(d) ..... 80

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Lokasi peletakan elektroda sadapan precordial .....	18
Tabel 2.2 Tabel fungsi selector pada 74HCT4051 .....	23
Tabel 4.1 Pengujian rangkaian <i>High Pass Filter</i> (HPF) .....	61
Tabel 4.2 Pengujian rangkaian <i>Low Pass Filter</i> (LPF).....	63
Tabel 4.3 Pengujian rangkaian <i>Band Stop Filter</i> (BSF) .....	66
Tabel 4.4 Tabel pengujian Lead 1 dengan osiloskop.....	80

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Penyakit kardiovaskuler merupakan salah satu jenis Penyakit Tidak Menular (PTM) yang telah memakan banyak korban. Menurut World Health Organization (WHO), penyakit kardiovaskuler merupakan suatu penyakit yang disebabkan oleh terganggunya fungsi serta kinerja dari jantung dan pembuluh darah. Terdapat beberapa macam penyakit kardiovaskuler, tetapi yang paling umum adalah penyakit jantung koroner dan stroke. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi seseorang terkena penyakit kardiovaskuler, yaitu riwayat keluarga, usia, obesitas, kurangnya latihan fisik, gaya hidup tidak sehat, dan stress[1].

Seiring perkembangan teknologi yang semakin maju terutama di bidang kesehatan, penyakit kardiovaskuler dapat diketahui lebih awal dengan menggunakan perangkat medis elektrokardiograf (EKG). Perangkat EKG berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur aktivitas sinyal elektrik pada otot jantung. Elektrokardiograf merupakan suatu prosedur non-invasif yang sering digunakan untuk merekam perubahan sinyal elektrik pada jantung. Hasil perekaman sinyal elektrik ini dinamakan elektrokardiogram, menunjukkan serangkaian gelombang yang berhubungan dengan impuls elektrik yang terjadi setiap jantung berdenyut. Gelombang jantung normal yang terlihat pada kertas EKG maupun layar monitor perangkat dinamakan gelombang P, Q, R, S, dan T (urut sesuai abjad)[2].

Namun pemanfaatan perangkat medis EKG yang tersedia di fasilitas kesehatan masyarakat, terutama puskesmas, kurang dioptimalkan. Hal ini terjadi dikarenakan tidak semua tenaga medis di puskesmas dapat mengoperasikan perangkat EKG dan menganalisa hasil rekamannya dengan benar. Dibutuhkan keterampilan dan pengetahuan yang lebih untuk dapat mengoperasikan dan menganalisa hasil dari EKG tersebut. Sehingga hasil rekaman dari perangkat EKG yang tersedia di puskesmas harus dikirimkan ke tenaga medis (dokter) yang terdapat di rumah sakit besar.

Pengiriman hasil rekaman dari perangkat EKG tentu akan memakan waktu yang lama apabila data dikirimkan melalui jasa pengiriman konvensional (seperti pos). Sedangkan analisa yang terlampau lama dapat menyebabkan pasien tidak menerima tindakan yang sesuai. Oleh karena

itu, dibutuhkan suatu sistem dimana hasil rekaman dari perangkat EKG yang berada di puskesmas dapat langsung diterima oleh tenaga medis ahli yang berada di rumah sakit. Sehingga kondisi kesehatan jantung pasien dapat dipantau secara *realtime* meskipun pasien tidak berada di rumah sakit.

Mengacu terhadap hal diatas dan beberapa penelitian yang sesuai, maka diajukanlah proposal tugas akhir ini dengan harapan dapat membantu pasien yang membutuhkan perawatan penyakit jantung dan mempermudah tenaga ahli medis dalam mengolah dan menganalisa bentuk sinyal jantung yang terekam dari perangkat EKG secara lebih dalam tanpa terbatas waktu dan jarak.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Dilihat dari latar belakang di atas, maka dirumuskan beberapa masalah yang akan diselesaikan pada tugas akhir ini, yaitu:

1. Bagaimana cara mendeteksi apabila pasien terindikasi penyakit atau kelainan pada jantung.
2. Bagaimana mengoptimalkan pengiriman dan pengolahan data dari perangkat EKG yang berada di Puskesmas kepada dokter spesialis yang berada di rumah sakit.

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tugas akhir ini difokuskan kepada bagaimana perangkat elektrokardiograf 12-lead mengirimkan data dari perangkat menuju server memanfaatkan teknologi *Internet of Things*.
2. Merancang perangkat elektrokardiograf 12-lead menggunakan teknik multipleksing dengan peletakan elektroda bertipe elektroda tempel sebanyak 10 buah di dada.
3. Merancang transmisi data dari mikrokontroler menuju server secara kontinu menggunakan perangkat Raspberry Pi 3.
4. Merancang sistem monitoring sinyal secara *realtime* dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IOT), dimana sinyal jantung akan ditampilkan pada halaman web.
5. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Due untuk pembacaan ADC dan Arduino Nano untuk pengaturan multiplexer.
6. Pengujian dilakukan terhadap subjek manusia dewasa normal (pria) dan dilakukan di ruang laboratorium.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari diadakannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi jantung pasien dengan melihat hasil rekaman sinyal pada masing-masing lead.
2. Merancang sistem pengiriman data secara *realtime* dari perangkat elektrokardiograf sehingga dapat diterima oleh tenaga medis tanpa terbatas oleh jarak.
3. Merancang sistem monitoring sinyal EKG yang dapat dilihat di berbagai perangkat dalam waktu yang bersamaan.

## 1.5 Metodologi

Metodologi yang akan digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### 1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur ini dilakukan pengkajian terhadap perangkat keras elektrokardiograf dan sistem komunikasi (IoT) yang akan dibangun serta mengumpulkan berbagai referensi untuk menunjang proses yang akan dilakukan selama pengerjaan tugas akhir. Pengkajian yang dilakukan bertujuan untuk terciptanya perangkat yang sesuai dengan standar yang ada. Referensi diambil dari berbagai sumber, diantaranya jurnal, buku teks, artikel konferensi, datasheet komponen dan berita dari kantor berita terkenal.

### 2. Persiapan Alat dan Bahan

Tahapan ini ditujukan agar dalam perancangan perangkat menjadi lebih terstruktur. Pada tahap persiapan ini melakukan pengumpulan mengenai konsep yang akan dibutuhkan dalam perancangan perangkat EKG. Setelah ditemui konsep perancangan yang tepat, maka selanjutnya dilakukan pengumpulan alat dan bahan yang akan digunakan.

### 3. Perancangan Perangkat Keras

Pada tahapan ini dilakukan perancangan dan perealisasi perangkat keras yang terdiri atas rangkaian utama elektrokardiograf, mikrokontroler, modul komunikasi, serta rangkaian lainnya yang menunjang kinerja dari rangkaian utama dan sistem komunikasi.

### 4. Perancangan Perangkat Lunak

Pada tahap perancangan perangkat lunak digunakan untuk merancang program dengan algoritma pendeteksian detak jantung dan mendesain antarmuka yang mudah digunakan oleh pengguna.

## 5. Pengujian Sistem

Pada tahap ini dilakukan secara bertahap dan dilakukan pada masing-masing bagian. Hal ini bertujuan untuk mempermudah dalam menganalisa permasalahan yang timbul. Pertama dilakukan pengujian terhadap perangkat lunak, dimana program yang sudah dibuat akan diuji terlebih dahulu sebelum diterapkan ke dalam perangkat keras. Kemudian akan dilakukan pengujian terhadap perangkat keras, dimulai dari rangkaian penguat, penyaring, penambah, sistem daya, sistem komunikasi, dan mikrokontroler. Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kehandalan perangkat dalam melakukan fungsi utamanya.

## 6. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Pada tahap terakhir ini dilakukan penulisan laporan tugas yang bertujuan sebagai bentuk pertanggungjawaban dan dokumentasi dari pengerjaan tugas. Laporan tugas akhir akan berbentuk sebuah buku yang berisikan pendahuluan, teori penunjang yang digunakan, perancangan sistem, pengujian sistem, dan penutup yang terdiri atas kesimpulan dan saran serta daftar pustaka dari referensi-referensi yang sudah digunakan selama pengerjaan tugas.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan pada laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

#### **BAB 1      PENDAHULUAN**

Pada bab pertama akan dibahas mengenai latar belakang, perumusan masalah dan batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, serta relevansi tugas akhir.

#### **BAB 2      TEORI PENUNJANG**

Pada bab kedua membahas tentang dasar teori dan menjabarkan beberapa literatur yang digunakan untuk menunjang penyelesaian tugas akhir.

#### **BAB 3      PERANCANGAN SISTEM**

Pada bab ketiga berisi tentang perancangan sistem yang dijelaskan secara detail, seperti desain perangkat keras dan perangkat lunak.

#### **BAB 4      PENGUJIAN DAN ANALISA**

Pada bab keempat ini berisi tentang pemaparan hasil pengujian perangkat serta pengambilan data. Setiap pengujian akan diberikan analisa yang berkaitan.

## **BAB 5      PENUTUP**

Pada bab kelima ini membahas tentang kesimpulan yang diperoleh dari pembuatan tugas akhir dan disertakan beberapa saran yang berguna untuk pengembangan lebih lanjut.

### **1.7 Relevansi**

Hasil akhir dari tugas akhir ini diharapkan dapat membantu pengembangan lebih lanjut terhadap aplikasi yang memanfaatkan sistem EKG 12-leads sehingga dapat digunakan untuk meningkatkan analisa terhadap kinerja jantung secara lebih mendetail dan akurat. Dari tugas akhir ini juga diharapkan dapat ditindaklanjuti dengan penelitian lanjutan pada sistem monitoring kinerja jantung secara real time tanpa terbatas wilayah (jarak).

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab 2 akan dibahas mengenai landasan dan teori-teori dasar yang menunjang dalam pembuatan tugas akhir ini. Bab ini juga berisikan sistem dan algoritma dalam merangkai tugas akhir ini maupun tugas akhir yang pernah dibuat sebelumnya. Dasar teori dan tinjauan pustaka yang diberikan meliputi anatomi dan kelistrikan jantung, rangkaian elektrokardiograf dan pemrosesan sinyal analog, serta pemrosesan sinyal secara digital.

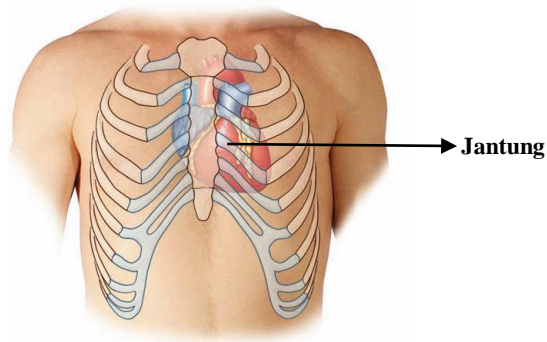
#### **2.1 Jantung**

Jantung merupakan organ tubuh manusia yang tergolong sangat penting. Organ jantung yang tergabung dalam sistem kardiovaskular bertugas untuk memompa darah ke seluruh bagian tubuh secara terus menerus. Karena fungsi yang sangat penting itu maka apabila terjadi gangguan pada aktivitas jantung dapat memberikan dampak yang dapat berakibat fatal. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu pembelajaran khusus untuk memahami anatomi dari organ jantung serta bagaimana organ jantung tersebut dapat bekerja sehingga kita dapat lebih hati-hati dalam melakukan kegiatan yang melibatkan organ tersebut.

##### **2.2.1 Anatomi dan Fisiologi Jantung**

Di dalam tubuh manusia, posisi jantung dapat dilihat pada Gambar 2.1, terletak diantara kedua bagian paru-paru, di dalam rongga dada bagian tengah sedikit ke bagian kiri atau lebih tepatnya bagian basis terletak dibalik sternum setinggi kosta ke-3, dan bagian apeks setinggi kosta ke-5. Ukuran jantung manusia secara umum sebesar genggam tangan dengan berat sekitar 300 gram.

Organ jantung tersusun dari 4 lapisan penting, yaitu lapisan perikardium, epikardium, miokardium, dan endokardium. Lapisan perikardium berfungsi sebagai pelindung jantung. Lapisan endokardium memiliki fungsi juga sebagai pelindung namun terletak di bagian dalam. Sedangkan lapisan miokardium adalah lapisan kontraktile yang membentuk bagian terbesar pada dinding jantung. Diantara lapisan perikardium dan endokardium terdapat rongga perikardium yang berisi cairan pelumas.



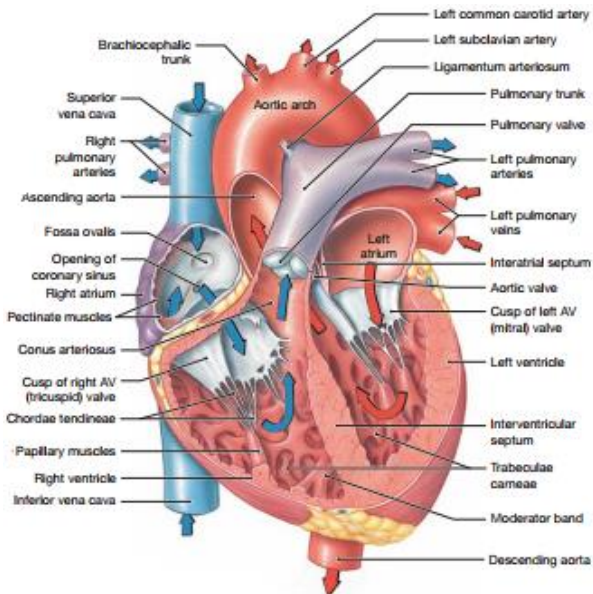
**Gambar 2.1** Posisi jantung pada manusia[3]

Jantung manusia yang dapat kita lihat pada Gambar 2.2 terdiri atas empat buah ruang, yaitu serambi (atrium) dan bilik (ventrikel). Serambi dan bilik tersebut kemudian terbagi ke dalam dua sisi, kiri dan kanan. Diantara sisi kiri dan sisi kanan jantung terdapat sekat yang disebut *interventricular septum* untuk memisahkan kedua bagian sisi tersebut, sekat ini disusun oleh jaringan otot padat. Sedangkan antara serambi dan bilik dipisahkan oleh katup, katup dua gelambir (*valvula bikuspidalis*) memisahkan serambi kiri dengan bilik kiri dan katup tiga gelambir (*valvula trikuspidalis*) yang memisahkan serambi kanan dengan bilik kanan.

Di dalam sistem peredaran darah, jantung berfungsi sebagai pemompa darah ke paru-paru dan seluruh tubuh manusia. Darah yang dipompa ke seluruh tubuh melalui tiga pembuluh darah, yaitu arteri atau pembuluh nadi membawa darah yang kaya akan nutrisi (oksigen) keluar dari jantung, vena atau pembuluh balik membawa darah yang penuh akan karbon dioksida dari seluruh tubuh kembali ke jantung, dan *capillaris* atau pembuluh kapiler adalah pembuluh darah terkecil tempat dimana terjadinya proses pertukaran nutrisi dalam darah dengan jaringan disekitarnya.

Dimulainya sirkulasi darah berawal dari serambi kanan yang menerima darah kotor yang mengandung karbon dioksida dari seluruh tubuh melalui pembuluh darah balik (vena) dan kemudian melewatkannya ke bilik kanan untuk dipompa menuju paru-paru melalui pembuluh nadi (*pulmonary arterie*). Di paru-paru terjadi pertukaran gas

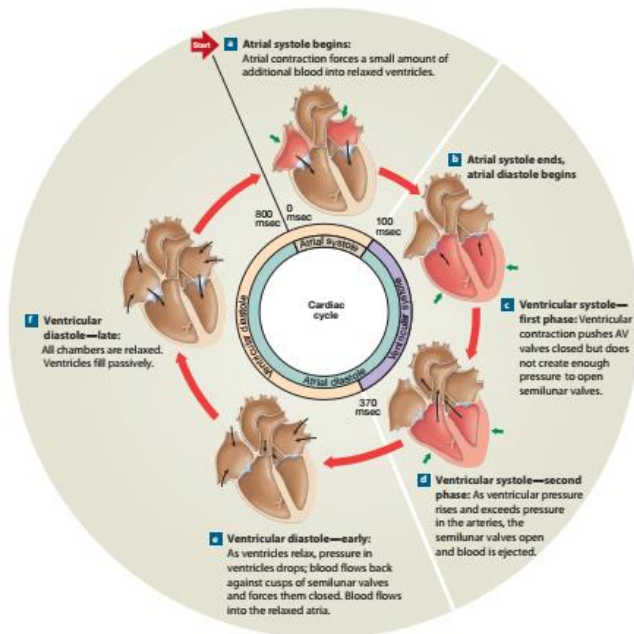




**Gambar 2.2** Anatomi jantung manusia[3]

karbon dioksida dalam darah dengan oksigen. Darah yang sudah mengandung oksigen kemudian menuju serambi kiri melalui pembuluh vena (*vena pulmonary*), pembuluh vena pulmonari adalah pembuluh vena yang mengantarkan darah yang kaya akan oksigen ke jantung. Darah yang diterima serambi kiri kemudian dilewatkan ke bilik untuk dipompa kembali ke seluruh tubuh. Siklus ini berjalan secara teratur dan kontinu.

Siklus kerja dari organ jantung sendiri dapat dibagikan menjadi berbagai macam, apabila dilihat dari kondisi kontraksi dan relaksasi jantung maka dapat dibedakan menjadi dua fase, yaitu sistol (*systole*) dan diastol (*diastole*). Ketika kondisi sistol atau kontraksi, jaringan otot jantung mengencang sehingga mendorong darah keluar dari ruang jantung. Sedangkan pada kondisi diastol atau relaksasi, otot-otot jantung mengendur/relaksasi sehingga memungkinkan untuk darah masuk ke ruang jantung. Siklus jantung bermula dari kontraksi serambi yang melewati darah ke bilik, kemudian dilanjutkan dengan kontraksi bilik yang bersamaan dengan relaksasi serambi. Siklus ini berakhir pada fase relaksasi bilik yang kemudian dimulai kembali ketika serambi mulai berkontraksi[3],[4].



**Gambar 2.3** Siklus jantung[3]

### 2.2.2 Biopotensial

Biopotensial adalah tegangan yang dihasilkan oleh jaringan pada tubuh manusia, terutama pada jaringan otot selama berkontraksi, atau dapat juga dikatakan potensial listrik yang terjadi di antara titik dalam sel, jaringan, ataupun organisme hidup. Sedangkan potensial aksi adalah sebuah mekanisme dari neuron-neuron yang terdapat di dalam otak untuk mengantar informasi dan memprosesnya kembali. Hubungan antar neuron ini tidak hanya sebatas aliran listrik yang terjadi secara otomatis, namun listrik yang dihasilkan berasal dari hasil difusi senyawa  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$  yang berada di dalam akson.

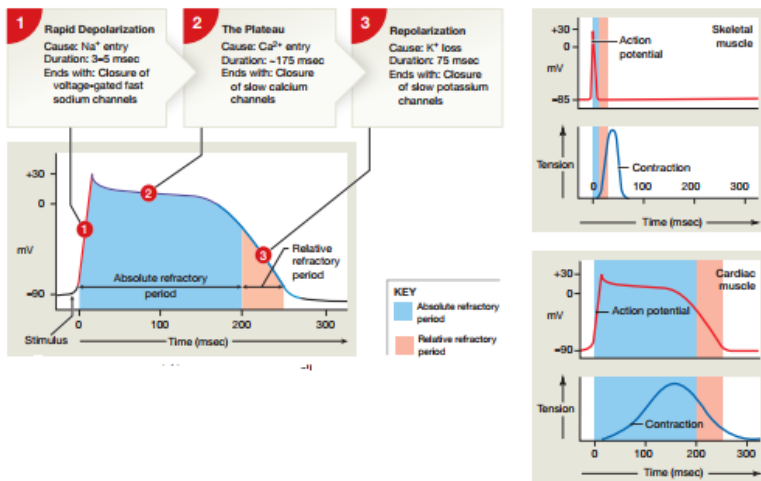
Di bagian dalam membran akson terdapat konsentrasi  $\text{K}^+$  yang lebih tinggi daripada konsentrasi  $\text{Na}^+$  namun sebaliknya di bagian luar dari membran akson konsentrasi  $\text{Na}^+$  lebih tinggi. Perbedaan dari konsentrasi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$  inilah yang membuat terjadinya difusi dari dalam membran keluar dan sebaliknya. Setiap terjadinya perubahan konsentrasi, maka akan menimbulkan lonjakan listrik pada akson tersebut. Pada dinding

membran tersebut juga terdapat gerbang-gerbang ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$ . Pada kondisi normal dimana konsentrasi  $\text{K}^+$  lebih tinggi di dalam membran, maka terdapat tegangan sebesar  $-70\text{mV}$  yang disebut sebagai kondisi polarisasi.

Ketika terjadi sebuah impuls, gerbang  $\text{Na}^+$  akan terbuka dan menyebabkan konsentrasi dari  $\text{Na}^+$  di dalam akson bertambah seiring dengan masuknya ion  $\text{Na}^+$  ke dalam akson. Kondisi ini akan membuat membran akson menjadi lebih positif dibandingkan di bagian luar membran. Fenomena ini disebut depolarisasi, dimana potensial antar membran akan naik dari  $-70\text{mV}$  ke titik maksimum  $+40\text{mV}$ .

Pada saat konsentrasi dari  $\text{Na}^+$  sudah tinggi, gerbang-gerbang  $\text{K}^+$  akan terbuka sehingga ion  $\text{K}^+$  akan keluar dari membran. Hal ini menyebabkan kondisi di bagian dalam membran kembali menjadi lebih negatif daripada di bagian luar membran dan menyebabkan repolarisasi.

Namun gerbang-gerbang  $\text{K}^+$  ini membuka dan menutup dengan durasi yang lebih lama, sehingga beberapa ion  $\text{K}^+$  terbuang berlebihan. Hal ini menyebabkan nilai tegangan antar neuron tersebut lebih negatif dari sebelumnya. Kejadian ini disebut hiperpolarisasi. Untuk mengembalikan ke keadaan semula, ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$  akan berdifusi keluar dan masuk sehingga akan menghasilkan nilai yang sama dengan awalnya[3].

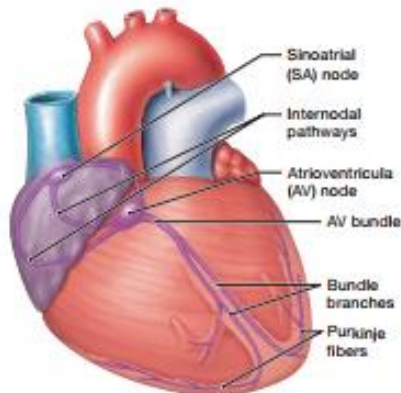


**Gambar 2.4** Proses terjadinya potesial aksi[3]

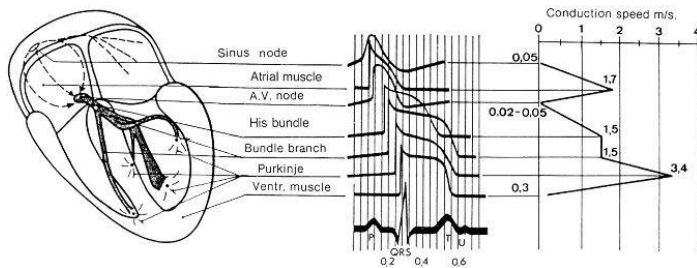
### 2.2.3 Sinyal Jantung

Sinyal jantung dapat diklasifikasikan menjadi sinyal PQRST, dimana di setiap titiknya mewakili proses yang berbeda. Siklus dimulai dari sel nodus sinoatrial (SA) yang terletak di atrium kanan. Pada jantung orang dewasa yang sehat, simpul SA mengirimkan sinyal listrik sebanyak 60 sampai 100 kali per menit. Dari nodus SA, sinyal merambat ke atrium kanan dan atrium kiri. Hal ini menyebabkan atrium berkontraksi dan darah dapat berpindah ke ruang jantung yang lebih rendah, yaitu ventrikel. Sinyal listrik yang bergerak melalui atrium ini tampak sebagai gelombang P. Sinyal listrik yang merambat di antara atrium dan ventrikel melalui sekelompok sel yang disebut nodus atrioventrikular (AV). Sinyal melambat saat melewati nodus AV dan perlambatan ini memberikan ventrikel cukup waktu untuk mengisi ruangan dengan darah. Karena melambat, sinyal yang tampak dari proses ini adalah garis datar antara akhir gelombang P dan awal gelombang Q. Garis datar ini berada di garis dasar dan disebut dengan segmen PQ.

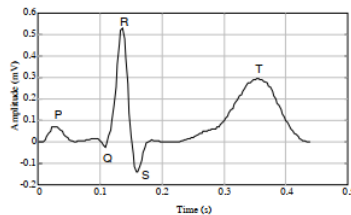
Sinyal listrik kemudian meninggalkan nodus AV dan menuju ke berkas HIS. Di berkas HIS ini sinyal bercabang ke kanan dan kiri cabang berkas. Sinyal ini menyebar dengan sangat cepat di seluruh ventrikel jantung. Hal ini menyebabkan ventrikel berkontraksi dan memompa darah ke paru-paru dan ke seluruh tubuh. Karena rangsangannya besar dan ber-impuls, fenomena ini dalam sinyal jantung dapat dilihat pada gelombang Q, R, dan S. Segmen ini disebut sebagai segmen kompleks QRS.



**Gambar 2.5** Komponen nodus jantung[3]

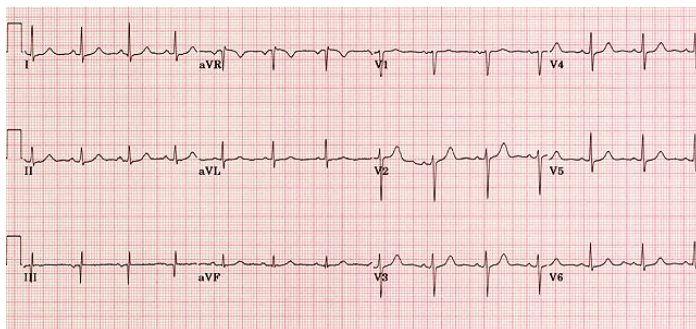


**Gambar 2.6** Morfologi sinyal jantung[5]



**Gambar 2.7** Sinyal elektrokardiogram kompleks PQRST[5]

Setelah kejadian tersebut maka terjadilah depolarisasi ventrikel. Karena tidak ada sinyal yang berperan, segmen yang terbentuk berupa garis datar yang disebut segmen ST. Ventrikel kemudian kembali ke kondisi normal. Repolarisasi yang terjadi membutuhkan waktu yang cenderung lama karena terjadi proses pengisian ulang dari darah yang berasal dari seluruh tubuh kembali ke jantung yang masuk melalui atrium. Proses ini ditampilkan sebagai gelombang T[3],[6].



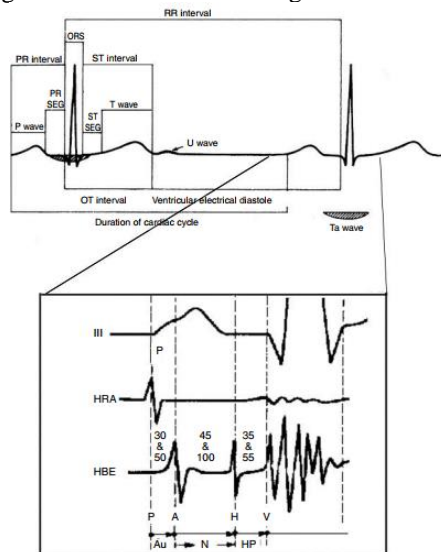
**Gambar 2.8** Standar sinyal EKG 12 lead[12]

### 2.2.4 Irama Jantung

Merupakan faktor penting untuk mengetahui kondisi fisik manusia. Irama jantung adalah jumlah kontraksi jantung per menit (bpm), yang berfungsi untuk mengetahui detak jantung. Irama jantung sangat bervariasi, sesuai dengan kemampuan tubuh dalam menyerap oksigen dan mengeluarkan karbon dioksida. Detak jantung manusia dapat berubah-ubah, bergantung pada aktifitas fisik, waktu istirahat, kondisi emosional, serta konsumsi obat-obatan.

Umumnya, detak jantung dapat dibedakan menjadi dua irama, yaitu irama sinus (irama teratur) dan irama reguler. Irama sinus memiliki ciri: merupakan gelombang P normal dan selalu diikuti gelombang QRS dan T; interval PR normal (120 – 200 mS); serta morfologi gelombang dalam satu rekaman yang sama.

Pada manusia dewasa saat beristirahat memiliki detak jantung berkisar 60 – 100 bpm. Apabila detak jantung berdetak lebih cepat (>100 bpm) disebut dengan takikardia, sedangkan bila jantung berdetak lebih lambat (<60 bpm) disebut dengan bradikardia. Saat sedang tidur, detak jantung berdetak lebih lambat antara 40 – 50 bpm. Jantung yang berdetak dalam pola yang tidak teratur disebut sebagai aritmia.



**Gambar 2.9** Bentuk sinyal dan RR interval pada sinyal jantung[5]

Detak jantung dapat diukur dengan meletakkan dua jari diantara tulang dan tendon di atas arteri radial (pada ibu jari dan pergelangan tangan) yang kemudian dihitung iramanya detak selama 1 menit. Selain cara diatas, dapat juga dihitung dengan R-R interval pada EKG (perhitungan secara manual atau menggunakan algoritma tertentu).

Variasi yang terjadi pada tiap detak jantung disebut dengan tingkat variabilitas jantung (HRV). Dalam kondisi istirahat, EKG pada manusia sehat menunjukkan variasi periodik dalam R-R interval dengan ilustrasi seperti Gambar 2.9[6],[7].

## **2.2 Instrumentasi Sinyal Analog**

Sinyal-sinyal listrik yang dihasilkan oleh jantung dapat dideteksi dengan menggunakan peralatan kesehatan yang disebut elektrokardiogram. Elektrokardiogram atau EKG adalah alat kesehatan yang digunakan untuk mendeteksi sinyal potensial listrik pada jantung manusia dengan cara meletakkan elektroda di permukaan tubuh pasien. Untuk dapat merekam gelombang EKG diperlukan adanya perbedaan potensial dari titik-titik pengukuran pada permukaan tubuh.

Prinsip kerja EKG sebenarnya sederhana dimana elektroda digunakan untuk mengukur potensial listrik tubuh dan menangkapnya menjadi suatu sinyal listrik. Karena sinyal potensial listrik yang ditangkap oleh elektroda memiliki nilai yang kecil, dimana nilai tersebut sulit digunakan untuk analisa, maka sinyal tersebut kemudian dilewatkan ke dalam rangkaian penguat instrumentasi. Sinyal yang sudah diperkuat kemudian di filter untuk menghilangkan sinyal yang tidak diinginkan. Untuk lebih mempermudah dalam melakukan analisa maka dilakukan data konversi dari analog ke digital melalui rangkaian *analog to digital converter* (ADC).

### **2.2.5 Sadapan Elektrokardiogram**

Sadapan (elektroda) atau lead pada perangkat EKG merupakan suatu konduktor yang dipasang di permukaan tubuh manusia untuk merekam aktivitas kelistrikan jantung. Setiap sadapan yang dipasang menghasilkan perbedaan potensial yang menjadi sinyal aktivitas kelistrikan jantung sesuai dengan posisinya terhadap jantung. Secara umum, sadapan jantung dapat dibagi menjadi sadapan ekstremitas dan precordial. Karena kompleksitas otot jantung, maka untuk EKG dengan diagnosa standar digunakan 12 sadapan dimana bertujuan untuk memberikan gambaran

multidimensi atau menyeluruh terhadap sinyal jantung dan kondisi otot jantung yang menghasilkan sinyal tersebut.

### 2.2.5.1 Sadapan Frontal

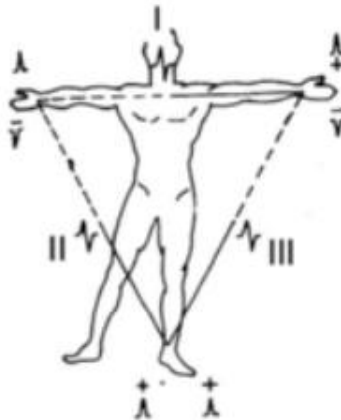
Pada sadapan frontal ini menggunakan metode segitiga Einthoven (*Einthoven's triangle*) dimana akan menghasilkan sinyal EKG yang kemudian disebut Lead I, Lead II, dan Lead III. Sinyal jantung disadap dari tiga titik tubuh, yaitu tangan kanan (RA), tangan kiri (LA), dan kaki kiri (LL). Sadapan Lead I, elektroda positif dihubungkan dengan tangan kiri dan elektroda negatif dihubungkan dengan tangan kanan. Sadapan Lead II, elektroda positif dihubungkan dengan kaki kiri dan elektroda negatif dihubungkan dengan tangan kanan. Sadapan Lead III, elektroda positif dihubungkan dengan kaki kiri dan elektroda negatif dihubungkan dengan tangan kiri. Sebagai *grounding* ditambahkan satu buah sadapan yang ditempatkan pada kaki kanan (RL)[8],[9].

Persamaan matematis untuk sadapan frontal adalah sebagai berikut:

$$\text{Lead I} = LA - RA \quad (2.1)$$

$$\text{Lead II} = LL - RA \quad (2.2)$$

$$\text{Lead III} = LL - LA \quad (2.3)$$

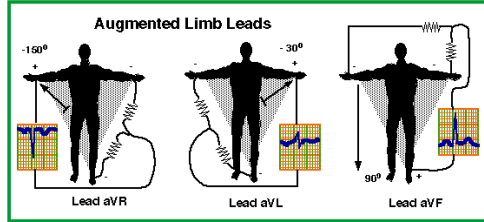


**Gambar 2.10** Segitiga Einthoven (*Einthoven's Triangle*)[10]



### 2.2.5.2 Sadapan Ekstrimitas Unipolar (*Augmented Limb Lead*)

Sadapan ini membandingkan tegangan pada satu titik tubuh terhadap tegangan rata-rata dua titik tubuh lainnya. Hasil dari sadapan ekstrimitas unipolar ini merupakan aVR, aVL, dan aVF. Masing-masing dari sadapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Sadapan ekstrimitas unipolar (*Augmented Limb Lead*)[11]

Resistor yang digunakan untuk mendapatkan sadapan aVR, aVL, dan aVF memiliki nilai yang sama, sehingga diperoleh tegangan rata-rata dari dua titik tubuh[8],[9]. Persamaan matematis untuk sadapan ekstrimitas unipolar (*augmented limb lead*) adalah sebagai berikut:

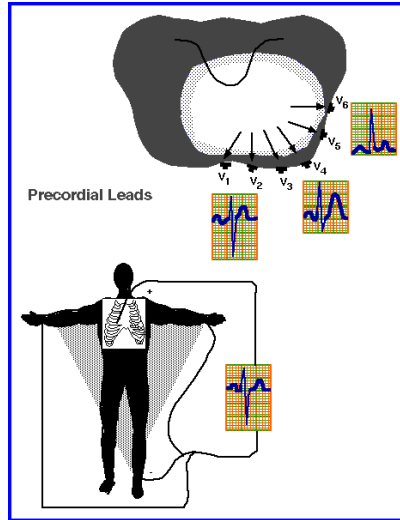
$$\text{Lead aVR} = RA - \frac{LA+LL}{2} \quad (2.4)$$

$$\text{Lead aVL} = LA - \frac{RA+LL}{2} \quad (2.5)$$

$$\text{Lead aVF} = LL - \frac{RA+LA}{2} \quad (2.6)$$

### 2.2.5.3 Sadapan Precordial

Sadapan *precordial* dimaksudkan untuk mendapatkan aktivitas elektrik jantung dilihat dari bidang horizontal (*horizontal plane*). Sadapan *precordial* diturunkan dari perbandingan antara elektroda yang ditempatkan di dada dengan rangkaian *Wilson Central Terminal* (WCT). Elektroda digunakan sebagai tegangan positif sedangkan rangkaian WCT digunakan sebagai tegangan negatif. Hasil dari sadapan *precordial* ini adalah V1, V2, V3, V4, V5, dan V6. Penempatan elektroda untuk sadapan *precordial* dapat dilihat pada Gambar 2.12[8],[9].



**Gambar 2.12** Sadapan *precordial* (*Precordial Lead*)[11]

Persamaan matematis untuk mendapatkan sadapan *precordial* adalah sebagai berikut:

$$\text{Lead } V1 = V1 - V_{WCT} \quad (2.7)$$

$$\text{Lead } V2 = V2 - V_{WCT} \quad (2.8)$$

$$\text{Lead } V3 = V3 - V_{WCT} \quad (2.9)$$

$$\text{Lead } V4 = V4 - V_{WCT} \quad (2.10)$$

$$\text{Lead } V5 = V5 - V_{WCT} \quad (2.11)$$

$$\text{Lead } V6 = V6 - V_{WCT} \quad (2.12)$$

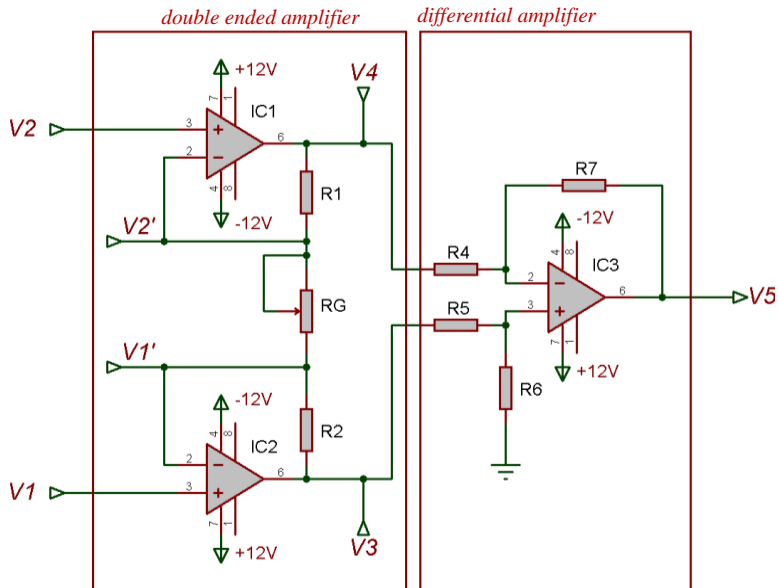
**Tabel 2.1** Lokasi peletakan elektroda sadapan *precordial*[12]

V1	Ruang interkostal keempat di perbatasan sternum kanan
V2	Ruang interkostal keempat di perbatasan sternum kiri
V3	Pertengahan antara <i>lead</i> V2 dan V4
V4	Ruang interkostal kelima di garis <i>midclavicular</i>
V5	Garis <i>anterior axillary</i> kiri pada bidang horizontal yang sama dengan V4
V6	Garis <i>midaxillary</i> kiri pada bidang horizontal yang sama dengan V4 dan V5

Kesalahan (*error*) dalam menempatkan sadapan atau *lead* dapat memberikan kesalahan dalam menginterpretasi sinyal, dimana kemudian terjadi kesalahan pada diagnosa, dan kesalahan penanganan pasien dengan prosedur yang tidak pantas (Khunti, 2013). Penyimpangan pada penempatan *lead* bahkan sekitar 20-25mm dari posisi yang benar dapat membuat perubahan klinis secara signifikan pada EKG, termasuk perubahan terhadap segmen ST (McCann, 2017). Dada dan keempat bagian tubuh pasien harus terbuka dan tidak terhalangi dalam rangka menghindari terjadinya kesalahan dalam penempatan elektroda [12].

### 2.2.6 Penguat Instrumentasi

Penguat instrumentasi ini merupakan sebuah alat untuk memperkuat sinyal yang kecil dari elektroda. Sinyal yang telah tertangkap dari elektroda, dimasukkan ke dalam penguat instrumentasi, yang berukuran berkisar milivolt. Sinyal tersebut harus diperbesar menggunakan amplifier. Rangkaian *biopotential amplifier* merupakan sinyal yang diperkuat dari dalam tubuh untuk tetap menjaga bentuk dan karakteristik sinyal asli.



**Gambar 2.13** Rangkaian Penguat Instrumentasi

Penguat instrumentasi terdiri dari rangkaian double ended amplifier dan rangkaian differential amplifier, serta rangkaian *driven left leg* (mengembalikan dan menyamakan tegangan ground pada kaki kiri). Ilustrasi dari rangkaian *double ended amplifier* dan rangkaian *differential amplifier* dapat dilihat pada Gambar 2.12. Analisa rangkaian dimulai dari perbedaan tegangan antara  $V_1$  dan  $V_2$  karena adanya *virtual ground* pada op-amp, maka dapat dituliskan dengan Persamaan 2.13.

$$V_{1'} = V_1, V_{2'} = V_2 \quad (2.13)$$

Beda potensial antara  $V_1$  dan  $V_2$  menimbulkan arus  $i_1$  yang mengalir antara  $V_3$  dan  $V_4$  dapat diturunkan pada Persamaan 2.14.

$$i_1 = \frac{V_1 - V_2}{R_G} \quad (2.14)$$

$$V_3 - V_4 = i_1(R_1 + R_2 + R_G) \quad (2.15)$$

Jika di substitusikan menjadi:

$$\frac{V_3 - V_4}{V_1 - V_2} = \frac{R_1 + R_2 + R_G}{R_G} \quad (2.16)$$

Karena  $R_1 = R_2 = R$  maka

$$\frac{V_3 - V_4}{V_1 - V_2} = \frac{2R}{R_G} + 1 \quad (2.17)$$

Keluaran rangkaian *double ended amplifier* menjadi masukan bagi penguat rangkaian *differential*, sehingga didapat Persamaan 2.18.

$$V_5 = V_{5|V_3} + V_{4|V_3} \quad (2.18)$$

$$V_{5|V_3} = \left(\frac{R_7}{R_4} + 1\right) \times \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6} V_3\right) \quad (2.19)$$

$$V_{5|V_4} = -\left(\frac{R_7}{R_4} \times V_4\right) \quad (2.20)$$

Jika disubstitusi didapatkan Persamaan 2.21 sebagai berikut:

$$V_5 = \left[ \left( \frac{R_7}{R_4} + 1 \right) \times \left( \frac{R_6}{R_5 + R_6} \times V_3 \right) \right] \times \left[ \frac{R_7}{R_4} \times V_4 \right] \quad (2.21)$$

Bila  $R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R$  maka akan didapatkan *output* tegangan

$$V_5 = V_3 - V_4 \quad (2.22)$$

Bila disubstitusikan dengan rangkaian *double ended* dapat diperoleh hubungan *input-output* dari penguat instrumentasi pada Persamaan 2.23.

$$V_{out} = \left( \frac{2R}{R_G} + 1 \right) \times (V_1 - V_2) \quad (2.23)$$

Persamaan penguatannya dengan resistor  $R_G$  diperoleh Persamaan 2.24.

$$G = \frac{49,4k\Omega}{R_G} + 1 \quad (2.24)$$

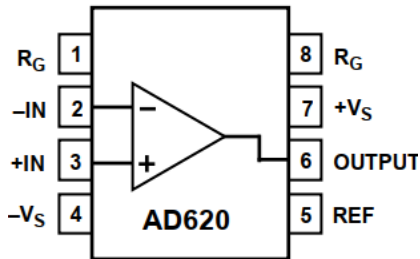
dimana  $R_G$  adalah resistor penguatan.

### 2.2.6.1 Penguat Instrumentasi IC AD620

Komponen AD620 adalah salah satu komponen penguat instrumentasi yang telah diintegrasikan ke dalam bentuk IC (*Integrated Circuit*). IC AD620 dibuat berdasarkan pendekatan rangkaian 3 Op-Amp sebagai penguat instrumentasi. Komponen AD620 memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan hanya memerlukan 1 resistor eksternal ( $R_G$ ) untuk mengatur besarnya nilai penguatan (dengan rentang nilai 1 hingga 1000 kali). Selain itu dengan bentuk AD620 yang kecil dan mengkonsumsi daya yang rendah menjadikan komponen ini sangat tepat digunakan untuk perangkat yang membutuhkan penguatan sinyal dengan tingkat akurasi tinggi namun berdaya rendah seperti perangkat elektrokardiogram (EKG). Konfigurasi pin pada IC AD620 dapat dilihat pada Gambar 2.14.

Parameter penting dalam menggunakan instrument adalah *Common Mode Rejection Ratio* (CMRR). CMRR merupakan rasio dari penguatan differensial ( $Adm$ ) dan penguatan Bersama ( $Acm$ ) seperti pada Persamaan 2.25.

$$CMRR = 20 \times \log \left| \frac{Adm}{Acm} \right| \quad (2.25)$$



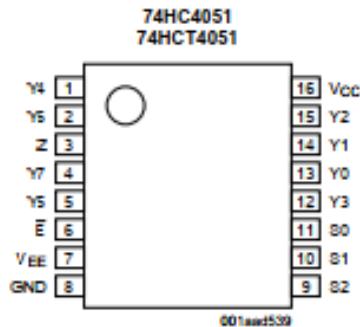
**Gambar 2.14** Konfigurasi pin pada IC AD620[13]

Beberapa fitur dan keuntungan lainnya dalam menggunakan penguat instrumentasi AD620 antara lain:

- Penguatan (*gain*) dapat diatur dari 1 hingga 10.000 dengan menggunakan satu resistor eksternal ( $R_G$ )
- Dapat di-*supply* dengan tegangan 2,3V hingga 18V
- Performa yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan rangkaian 3 op-amp
- Berdaya rendah (Maksimum arus *supply* 1,3mA)
- 100dB minimum CMRR ( $G=10$ )
- 120KHz *bandwidth* ( $G=100$ )

### 2.2.7 Multiplexer IC 74HCT4051

IC 74HCT4051 adalah komponen Si-gate CMOS berkecepatan tinggi dan kompatibel dengan Low-power Schottky (LSTTL). Komponen ini sesuai dengan ketentuan yang terdapat pada standar JEDEC no. 7.



**Gambar 2.15** Konfigurasi pin pada IC 74HCT4051[14]

IC ini merupakan sebuah multiplekser/demultiplekser *analog 8-channel* dengan tiga *input* digital (S0, S1, S2), sebuah *active-LOW enable input* ( $\bar{E}$ ), delapan *input/output* independen (Y0-Y7) dan sebuah *common input/output* (Z). Ketika  $\bar{E}$  dalam kondisi LOW, satu dari delapan *switches* terpilih (impedansi rendah dan kondisi ON). Sedangkan ketika  $\bar{E}$  dalam kondisi HIGH, semua *switches* berada pada impedansi tinggi dan dalam keadaan OFF.  $V_{CC}$  dan GND adalah pin untuk *supply* tegangan dan berada pada rentang 4.5V sampai 5.5V. Untuk dioperasikan sebagai multiplekser/demultiplekser digital,  $V_{EE}$  harus dikoneksikan ke GND (ground).

**Tabel 2.2** Tabel fungsi selector pada 74HCT4051[14]

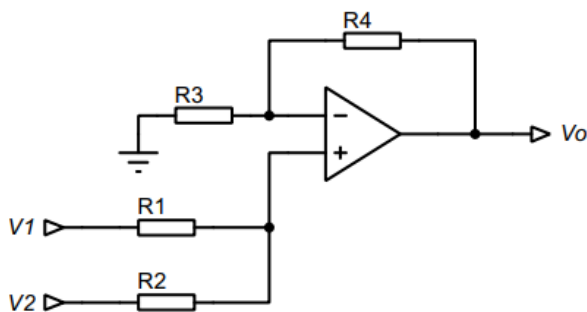
Input				Output
$\bar{E}$	S2	S1	S0	
L	L	L	L	Y0
L	L	L	H	Y1
L	L	H	L	Y2
L	L	H	H	Y3
L	H	L	L	Y4
L	H	L	H	Y5
L	H	H	L	Y6
L	H	H	H	Y7
H	X	X	X	-

### 2.2.8 Rangkaian Penjumlah Tak Membalik

Rangkaian penjumlah tak membalik atau yang biasa dikenal dengan *non-inverting adder* merupakan suatu rangkaian yang dapat menjumlahkan sinyal masukan pada kaki tak membalik penguat operasional. Prinsip kerjanya mengikuti rangkaian penguat operasional pada umumnya dengan besar penguatan bergantung kepada nilai resistor *feedback*. Namun karena rangkaian ini digunakan hanya untuk menaikkan *baseline* tegangan, maka diberikan penguatan sebesar satu kali. Sehingga nilai keluaran yang di dapat merupakan hasil dari penjumlahan masukan  $V_1$  dan  $V_2$ .

Untuk analisa dari rangkaian penjumlah tak membalik, apabila nilai dari  $R_1 = R_2 = R_f = R$ , maka dapat ditulis:

$$V_o = V_1 + V_2 \quad (2.26)$$



**Gambar 2.16** Rangkaian penjumlah (adder)

Dimana  $V_1$  merupakan tegangan masukan rangkaian dan  $V_2$  merupakan tegangan masukan sebagai referensi yang akan dijumlahkan.

$$V_1 = \left[ \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_1 \right] \times \left[ \frac{R_f}{R_i} + 1 \right] \quad (2.27)$$

$$V_2 = \left[ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_1 \right] \times \left[ \frac{R_f}{R_i} + 1 \right] \quad (2.28)$$

Sehingga persamaan *output* tegangan yang dihasilkan dapat dilihat dalam Persamaan 2.29.

$$V_o = \left( \frac{R_f}{R_i} + 1 \right) \times (V_1 + V_2) \quad (2.29)$$

### 2.2.9 Filter Analog

Rangkaian filter analog mempunyai fungsi sebagai penyaring yang melewatkan sinyal yang masuk pada daerah frekuensi tertentu dan melemahkan sinyal pada daerah frekuensi lainnya. Rangkaian filter terbagi menjadi dua menurut komponen penyusunnya, yaitu rangkaian filter aktif dan rangkaian filter pasif. Rangkaian filter aktif tersusun dari komponen semikonduktor (resistor, kapasitor, dan op-amp). Rangkaian filter pasif terdiri atas komponen pasif seperti resistor, induktor, dan kapasitor. Rangkaian filter terdiri dari empat jenis, yaitu LPF (*Low Pass Filter*), HPF (*High Pass Filter*), BPF (*Band Pass Filter*), dan BSF (*Band Stop Filter* atau *Notch Filter*). Dalam rangkaian filter pada umumnya, batas antara daerah sinyal yang akan dilewatkan dengan daerah sinyal



yang akan diredam dipisahkan oleh nilai frekuensi *cut-off* yang penguatannya dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.30.

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 \quad (2.30)$$

### 2.2.9.1 High Pass Filter

Rangkaian *High Pass Filter* (HPF) digunakan untuk memotong sinyal dengan frekuensi di bawah frekuensi *cut-off* ( $f_c$ ) dan melewatkan sinyal pada daerah frekuensi di atas frekuensi *cut-off* dari filter. Sama seperti filter analog lainnya dimana saat frekuensi *cut-off* penguatannya dapat dinyatakan sesuai dengan Persamaan 2.30.

Rangkaian HPF yang digunakan pada tugas akhir ini seperti yang dapat kita lihat pada Gambar 2.17 dirancang menggunakan topologi *Sallen-Key* dengan orde 2. Dimana nilai penguatannya akan naik sebesar 40dB jika frekuensi naik sebesar 10 kali atau 1 dekade. Rangkaian ini bekerja dengan prinsip buffer dan amplifier. Pada rangkaian HPF tegangan output diumpan-balikkan melalui resistor  $R_f$  ke masukan negatif op-amp dan melalui  $R_2$  ke masukan positif op-amp, kemudian baru dilewatkan kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$ .

Rangkaian ini bekerja dengan perhitungan sebagai berikut:

Karena  $i_1 = i_2 + i_3$  dan  $i_1 = i + i_4 = i_4$  maka tegangan pada  $V_o$  sama dengan tegangan pada  $V_B$  sehingga dapat diturunkan persamaan berikut:

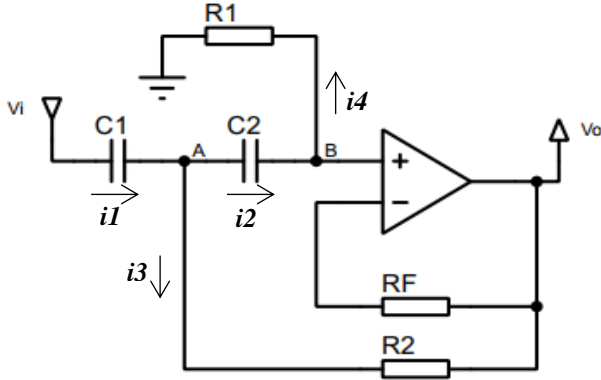
$$i_2 = \frac{V_A - V_B}{1/j\omega \times C_2} = j\omega \times C_2 \times (V_A - V_o) \quad (2.31)$$

$$i_4 = \frac{V_B}{R_1} = \frac{V_o}{R_1} \quad (2.32)$$

Karena  $i_2 = i_4$ , maka

$$(V_A - V_o) \times j\omega \times C_2 = \frac{V_o}{R_1} \quad (2.33)$$

$$V_A = V_o + \frac{V_o}{j\omega \times C_2 \times R_1} \quad (2.34)$$



**Gambar 2.17** Rangkaian HPF +40dB/dec

$$i_1 = \frac{V_i - V_A}{1/j\omega \times C_1} = j\omega \times C_1 \times (V_i - V_A) \quad (2.35)$$

Jika disubstitusikan akan diperoleh

$$i_1 = \left( V_i - V_O - \frac{V_O}{j\omega \times C_2 \times R_1} \right) \times j\omega \times C_1 \quad (2.36)$$

$$i_4 = \frac{V_A - V_O}{R_2} \quad (2.37)$$

Karena  $i_1 = i_2 + i_3$ , maka

$$\left( V_i - V_O - \frac{V_O}{j\omega \times C_2 \times R_1} \right) \times j\omega \times C_1 = (V_A - V_O) \times j\omega \times C_2 + \frac{V_A - V_O}{R_2} \quad (2.38)$$

$$\left( V_i - V_O - \frac{V_O}{j\omega \times C_2 \times R_1} \right) \times j\omega \times C_1 = \left( V_O + \frac{V_O}{j\omega \times C_2 \times R_1} - V_O \right) \times j\omega \times C_2 + \frac{V_O + \frac{V_O}{j\omega \times C_2 \times R_1} - V_O}{R_2} \quad (2.39)$$

$$\left( V_i - V_O - \frac{V_O}{j\omega \times C_2 \times R_1} \right) = \frac{V_O}{j\omega \times C_1 \times R_1} + \frac{V_O}{-\omega^2 C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2} \quad (2.40)$$

$$V_i = V_O + \frac{V_O}{j\omega \times C_1 \times R_1} + \frac{V_O}{j\omega \times C_2 \times R_1} - \frac{V_O}{\omega^2 C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2} \quad (2.41)$$

$$V_i = V_o \left\{ 1 - \frac{1}{\omega^2 C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2} + \frac{1}{j\omega \times R_1} \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \right\} \quad (2.42)$$

Sehingga persamaan akhirnya menjadi

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - \frac{1}{\omega^2 C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2} - j \frac{1}{\omega \times R_1} \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)} \quad (2.43)$$

Pada saat  $\omega = \omega_c$  maka nilai penguatan dan sudut fasenya adalah +90 derajat (+90°). Supaya dapat menghasilkan sudut fase tersebut maka nilai sudut pada penyebut sama dengan -90 derajat (-90°) sehingga diperoleh Persamaan 2.45.

$$1 - \frac{1}{\omega^2 C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2} = 0 \quad (2.44)$$

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2}} \quad (2.45)$$

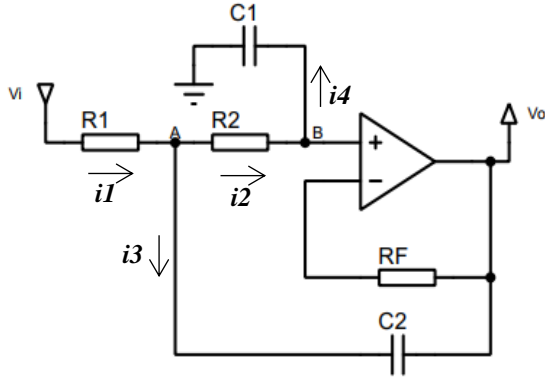
### 2.2.9.2 Low Pass Filter

Rangkaian *low pass filter* berfungsi untuk meredam interferensi gelombang RF (*Radio Frequency*). Yang mana rangkaian ini memotong sinyal dengan frekuensi diatas frekuensi *cut-off* ( $f_c$ ) dan melewati sinyal pada daerah frekuensi dibawah frekuensi *cut-off*. Frekuensi *cut-off* adalah batas frekuensi antara frekuensi yang akan dihilangkan dan frekuensi yang akan dilewatkan, dinyatakan sesuai dengan Persamaan 2.30.

Rangkaian pada Gambar 2.18 menggunakan topologi *Sallen-Key*, dengan orde 2, yang berarti penguatannya akan turun -40dB jika frekuensi naik 10 kali atau 1 dekade. Rangkaian ini bekerja dengan prinsip *buffer* dan *amplifier*. Tegangan *output* ditahan dan dibalikkan melalui resistor RF ke masukan negatif op-amp dan diberi *feedback* oleh kapasitor C2. Rangkaian ini bekerja dengan penurunan persamaan berikut ini:

$$i_1 = i_2 + i_3 = i + i_4 = i_4 \quad (2.46)$$

$$i_4 = \frac{V_B}{1/j\omega \times C_2} = j\omega \times C_2 \times V_o \quad (2.47)$$



**Gambar 2.18** Rangkaian LPF -40dB/dec

$$i_2 = \frac{V_A - V_B}{R_2} = \frac{V_A - V_O}{R_2} \quad (2.48)$$

Karena  $i_2 = i_4$ , maka

$$i_2 = i_4 = j\omega \times C_1 \times V_O \quad (2.49)$$

$$V_A = V_O + j\omega \times C_1 \times R_2 \times V_O \quad (2.50)$$

$$i_3 = \frac{V_A - V_O}{1/j\omega \times C_2} = j\omega \times C_2 \times (V_A - V_O) \quad (2.51)$$

Bila disubstitusikan akan diperoleh

$$i_3 = \omega^2 \times C_1 \times C_2 \times R_2 \times V_O \quad (2.52)$$

Karena  $i_1 = i_2 + i_3$ , maka

$$\frac{V_i - V_A}{R_1} = j\omega \times C_1 \times V_O + (-\omega^2 \times C_1 \times C_2 \times R_2 \times V_O) \quad (2.53)$$

$$V_i = V_O \{1 - \omega^2 C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2 + j\omega \times C_1 (R_1 + R_2)\} \quad (2.54)$$

Sehingga penguatan akhirnya diperoleh persamaan 2.55.

$$\frac{V_O}{V_i} = \frac{1}{1 - \omega^2 C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2 + j\omega \times C_1 (R_1 + R_2)} \quad (2.55)$$

Bila  $\omega = \omega_c$  supaya menghasilkan sudut  $+90^\circ$  maka bisa diperoleh dengan Persamaan 2.57.

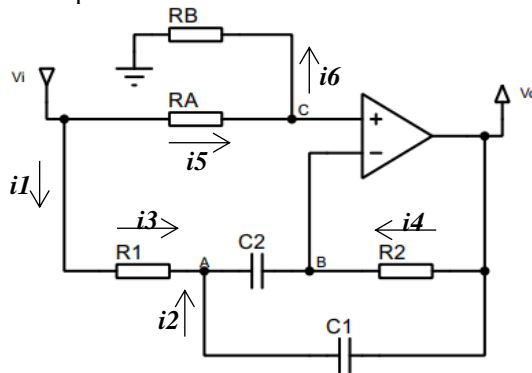
$$1 - \omega^2 C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2 = 0 \quad (2.56)$$

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2}} \quad (2.57)$$

### 2.2.9.3 Band Stop Filter

Penggunaan rangkaian *Band Stop Filter* (BSF) mempunyai fungsi untuk meredam sinyal dengan frekuensi tertentu dan juga yang memiliki lebar *bandwidth* tertentu. Pada rangkaian filter BSF ini, *bandwidth* dibatasi oleh frekuensi *cut-off* rendah (*low*) ( $\omega_{cL}$ ) dan frekuensi *cut-off* atas (*high*) ( $\omega_{cH}$ ). Sinyal yang akan dilemahkan yaitu sinyal yang berada diatas frekuensi *cut-off* rendah dan berada dibawah frekuensi *cut-off* atas, sedangkan sinyal yang berada di dibawah frekuensi *cut-off* rendah dan berada diatas frekuensi *cut-off* atas akan dilewatkan oleh filter.

Rangkaian BSF dapat juga disebut dengan *notch filter* dikarenakan kemampuannya yang dapat meredam sinyal jala-jala yang berasal dari listrik rumah dengan frekuensi 50Hz dan bandwidth 10Hz. Rangkaian BSF yang diterapkan menggunakan topologi *Sallen-Key* dengan orde 2 seperti yang terlihat pada Gambar 2.19.



**Gambar 2.19** Rangkaian BSF -40dB

Supaya dapat memenuhi persamaan penguatan seperti filter lainnya yaitu  $\left| \frac{V_O}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}} = \mathbf{0.707}$ , maka digunakan frekuensi *cut-off* atas dan rendah. *Bandwidth* merupakan selisih antara frekuensi *cut-off* atas ( $\omega_{cH}$ ) dengan frekuensi *cut-off* rendah ( $\omega_{cL}$ ) yang dapat ditulis dengan persamaan  $B = \omega_{cH} - \omega_{cL}$ . Sedangkan perbandingan antara lebar bidang frekuensi atau *bandwidth* dengan frekuensi resonansi disebut dengan faktor kualitas (Q), yang dapat ditulis dengan persamaan  $Q = \frac{\omega_c}{B}$ . Untuk setiap arus dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$i_1 = \frac{V_i - V_A}{R_1} \quad (2.58)$$

$$i_2 = (V_O - V_A) \times j\omega \times C_1 \quad (2.59)$$

$$i_3 = (V_A - V_B) \times j\omega \times C_2 \quad (2.60)$$

$$i_4 = \frac{V_O - V_B}{R_2} \quad (2.61)$$

$$i_5 = \frac{V_i - V_B}{R_A} \quad (2.62)$$

$$i_6 = \frac{V_B}{R_B} \quad (2.63)$$

$$V_B = V_C = + \frac{R_B}{R_A + R_B} \times V_i \quad (2.64)$$

$$V_B \left( \frac{R_A + R_B}{R_A \times R_B} \right) = \frac{V_i}{R_A} \quad (2.65)$$

Berdasarkan hukum *Kirchoff* 1 pada titik B,  $i_3 = i_4$  sehingga diperoleh Persamaan 2.67.

$$(V_A - V_B) \times j\omega \times C_2 + \frac{V_O - V_B}{R_2} = 0 \quad (2.66)$$

$$V_A = \frac{-V_O}{j\omega \times C_2 \times R_2} + V_B \left( 1 + \frac{1}{j\omega \times C_2 \times R_2} \right) \quad (2.67)$$

Berdasarkan hukum *Kirchoff* 1 pada titik A,  $i_1 + i_2 = i_3$  sehingga diperoleh persamaan berikut ini:

$$\frac{V_i - V_A}{R_1} + (V_O - V_A) \times j\omega \times C_1 = (V_A - V_B) \times j\omega \times C_2 \quad (2.68)$$

$$\frac{V_O}{V_i} = \frac{-\frac{1}{R_1} + \frac{R_B}{R_A + R_B} \left( \frac{1}{R_1} + j\omega \times (C_1 + C_2) \right) + \frac{1}{j\omega \times C_2 \times R_1 \times R_2} + \left( \frac{C_1 + C_2}{C_1 \times C_2} \right) - j\omega \times C_2}{j\omega \times C_1 + \frac{1}{j\omega \times C_2 \times 2R_1 \times R_2} + \frac{C_1 + C_2}{C_1 \times C_2}} \quad (2.69)$$

$$\frac{V_O}{V_i} = \frac{-\frac{1}{R_1} + \frac{R_B}{R_A + R_B} \left( \frac{1}{R_1} + j\omega \times C + \frac{1}{j\omega \times C \times R_1 \times R_2} + \frac{2}{R_2} \right)}{j\omega \times C + \frac{1}{j\omega \times C \times R_1 \times R_2} + \frac{2}{R_2}} \quad (2.70)$$

$$Acl = \frac{V_O}{V_i} = \frac{1 + \frac{R_B}{R_A + R_B} \left( \left( 1 - \frac{2R_1}{R_2} \right) + j \left( \frac{1}{\omega \times C \times R_2} - \omega \times C \times R_1 \right) \right)}{-\frac{2R_1}{R_2} - j \left( \frac{1}{\omega \times C \times R_2} - \omega \times C \times R_1 \right)} \quad (2.71)$$

Frekuensi resonansi terjadi apabila pada bagian imajiner sama dengan 0 (nol), atau

$$\frac{1}{\omega_r \times C \times R_2} - \omega_r \times C \times R_1 = 0 \quad (2.72)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C \times R_1 \times R_2}} \quad (2.73)$$

Penguatan pada saat frekuensi input sama dengan frekuensi resonansi ( $A_r$ ), maka diperoleh Persamaan 2.75.

$$A_r = \frac{1 + \frac{R_B}{R_A + R_B} \left( -1 - \frac{2R_1}{R_2} \right)}{\frac{2R_1}{R_2}} \quad (2.74)$$

$$A_r = \frac{-R_2}{2R_1} + \frac{R_B}{R_A + R_B} \left( \frac{R_2 + 2R_1}{2R_1} \right) \quad (2.75)$$

Apabila penguatannya sebesar 0.707, maka dua buah frekuensi yaitu frekuensi *cut-off* rendah (*low*) ( $\omega_{cl}$ ) dan frekuensi *cut-off* atas

(*high*) ( $\omega_{cH}$ ), lebar bidang frekuensi (*bandwidth*) dapat dituliskan dengan Persamaan 2.76.

$$B = \frac{2}{R_2 \times C} \quad (2.76)$$

## 2.3 Pemrosesan Sinyal Digital

Sinyal jantung yang telah melalui berbagai macam rangkaian filter (HPF, LPF, dan BSF) dan didapatkan sinyal yang bersih dari noise, kemudian sinyal tersebut dimasukkan ke mikrokontroler. Hal ini ditujukan untuk mengubah sinyal yang tadinya berupa nilai analog menjadi ke dalam bentuk nilai digital, sehingga analisa dapat dilakukan lebih cepat dan tepat melalui proses komputasi. Pada bagian ini terdiri atas pemrosesan sinyal analog ke digital atau yang biasa disebut *Analog to Digital Converter* (ADC) dan komunikasi serial.

### 2.3.1 Mikrokontroler Arduino

Mikrokontroler Arduino yang digunakan untuk memproses sinyal digital adalah Arduino Due yang dapat dilihat pada Gambar 2.19. Arduino Due merupakan salah satu mikrokontroler besutan Arduino yang menggunakan arsitektur ARM 32-bit, dimana *core* yang digunakan adalah AT91SAM3X8E dengan *clock speed* 84 MHz. Selain itu arduino Due memiliki memori *flash* sebesar 512 KB (terdiri atas 2 blok memori sebesar 256 KB) untuk menyimpan kode program dan SRAM dengan ukuran 96 KB. Penggunaan *core* dengan arsitektur 32-bit yang memiliki *clock speed* tinggi serta kapasitas memori baik itu *flash* maupun SRAM yang besar, memungkinkan mikrokontroler dapat mengolah program yang diberikan dalam waktu yang singkat.

Mikrokontroler Due dapat ditenagai melalui konektor USB dengan tegangan 5V ataupun dari sumber tenaga lain dengan rentang tegangan 6V sampai 20V. Namun jika Due ditenagai oleh sumber yang kurang dari 7V, pin 5V akan memberikan tegangan yang kurang dari 5V dan mikrokontroler mungkin akan menjadi kurang stabil. Sedangkan jika diberi sumber yang lebih dari 12V, regulator tegangan akan kelebihan panas dan dapat merusak mikrokontroler itu sendiri. Sehingga sumber tenaga yang direkomendasikan untuk mengoperasikan Due berada pada rentang tegangan 7V sampai 12V.





**Gambar 2.20** Mikrokontroler Arduino Due

Keunggulan Arduino Due dibandingkan mikrokontroler arduino lainnya adalah memiliki pin I/O digital yang sebanyak 54 pin. Masing-masing dari pin ini dapat digunakan sebagai *input* ataupun *output* dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Berbeda dengan pin I/O mikrokontroler arduino pada umumnya yang beroperasi pada tegangan 5V, pin I/O pada Due beroperasi pada tegangan 3.3V. Sebagai tambahan, beberapa pin ini memiliki fungsi spesial sebagai berikut:

- Serial: pin 0 (RX) dan pin 1 (TX)
- Serial 1: pin 19 (RX) dan pin 18 (TX)
- Serial 2: pin 17 (RX) dan pin 16 (TX)
- Serial 3: pin 15 (RX) dan pin 14 (TX)
- PWM: pin 2 sampai pin 13, keluaran PWM dengan resolusi 8-bit menggunakan fungsi `analogWrite()` dan dapat diatur besar resolusinya dengan fungsi `analogWriteResolution()`.
- SPI: SPI *header*, pin ini ditujukan untuk mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan SPI *library*.
- CAN: CANRX dan CANTX, pin ini bertujuan untuk mendukung komunikasi CAN.
- “L” LED: pin 13, *built-in* LED dimana ketika pin dalam keadaan *HIGH*, LED menyala dan saat pin dalam kondisi *LOW*, LED mati. Tingkat kecerahan LED juga dapat diatur mengingat pin 13 juga termasuk *output* PWM.
- TWI 1: pin 20 (SDA) dan pin 21 (SCL)
- TWI 2: SDA1 dan SCL1, pin ini ditujukan untuk mendukung komunikasi TWI menggunakan Wire *library*.
- Input Analog: pin A0 sampai pin A11, Due memiliki 12 analog *input* yang masing-masing pinnya memiliki resolusi sebesar 12-bit.

- DAC1 dan DAC2, pin ini memungkinkan Due untuk dapat menghasilkan *output* analog dengan resolusi sebesar 12-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`.

Pemrograman arduino Due dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Mengupload program ke mikrokontroler berbasis SAM3X (arduino Due) berbeda dengan mikrokontroler arduino lainnya yang berbasis AVR. Hal ini dikarenakan untuk mengupload program ke dalam *chip* SAM3X diatur oleh *Random Access Memory* (ROM) yang mana hanya dapat bekerja ketika memori *flash* pada *chip* dalam keadaan kosong. Maka dari itu, untuk memprogram ulang mikrokontroler Due memori *flash* perlu untuk di hapus terlebih dahulu[15].

### 2.3.2 Mikroprosesor Raspberry Pi

Raspberry pi merupakan suatu modul mikro-komputer berjenis *Single Board Circuit* (SBC) atau komputer papan tunggal. Perangkat yang dikembangkan oleh yayasan Raspberry Pi Foundation ini ditujukan untuk mempermudah orang-orang di seluruh dunia untuk memahami dunia digital (khususnya dalam *Internet of Things*). Kelebihan dari raspberry apabila dibandingkan dengan mikrokontroler pada umumnya adalah perangkat ini dapat menjalankan program dengan tingkat komputasi yang tinggi, seperti mengedit dokumen, memutar video beresolusi tinggi, dan lainnya. Selain itu pada perangkat raspberry pi juga disediakan *port* I/O digital dimana pada masing-masing *port* nya dapat di program selayaknya yang terdapat pada mikrokontroler. Perangkat raspberry pi dapat dikoneksikan perangkat tambahan seperti layar monitor, *mouse*, maupun *keyboard*.

Adapun spesifikasi dari raspberry pi yang digunakan, Raspberry Pi 3 model B, adalah sebagai berikut.

- CPU Quad Core 1.2GHz BCM2837 64bit
- RAM 1GB
- WLAN BCM43438 dan Bluetooth Low Energy
- 100 Base Ethernet
- 40-pin GPIO
- 4 USB ports
- HDMI
- Micro SD port

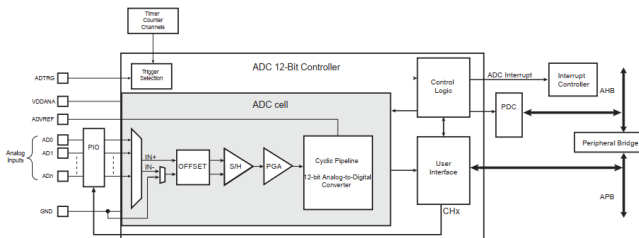


**Gambar 2.21** Bentuk dari Raspberry Pi 3 model B

### 2.3.3 Analog to Digital Converter (ADC)

*Analog to Digital Converter (ADC)* adalah sebuah modul yang ditujukan untuk mengubah besaran fisik tegangan listrik yang kontinu (sinyal analog) menjadi angka digital yang mempresentasikan amplitudo dari sinyal analog tersebut. Proses konversi ini melibatkan kuantisasi *input* untuk memperkecil kesalahan, kemudian ADC melakukan konversi secara berkala dengan *sampling input*. Hasil dari proses konversi ini adalah urutan dari nilai-nilai digital yang dikonversi dari sinyal analog yang kontinu terhadap waktu dan amplitudo menjadi sinyal yang diskrit terhadap waktu dan amplitudo (sinyal digital).

Pada Arduino Due yang didalamnya menggunakan *chip* AT91SAM3X8E memiliki 12 analog *input* dengan resolusi 12-bit. Namun secara pengaturan *default*, ADC pada Arduino Due diatur pada resolusi 10-bit agar kompatibel dengan *board* Arduino lainnya. Untuk mendapatkan resolusi 12-bit, pada pemrograman Arduino diperlukan fungsi `analogReadResolution()`. Resolusi yang tinggi berpengaruh terhadap kualitas sampling dari suatu ADC. Nilai resolusi dari tiap satuan bit ADC dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.77.



**Gambar 2.22** Diagram blok ADC pada SAM3X8E[16]

$$\text{Resolusi} = \frac{V_{ref}}{2^n - 1} \quad (2.77)$$

$V_{ref}$  = tegangan referensi

$n$  = jumlah dari bit ADC.

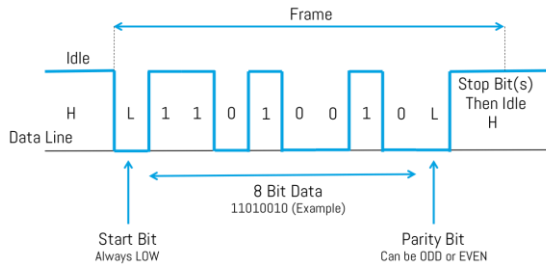
Sebagai contoh, sebuah ADC memiliki resolusi sebesar 10-bit, maka sinyal *input* dapat dinyatakan dalam 1024 nilai diskrit dengan nilai terendah 0 dan nilai tertinggi 1023.

### 2.3.4 Komunikasi Serial

Komunikasi serial adalah salah satu metode mentransfer data antara dua perangkat dimana data dikirimkan secara satu per satu (bit per bit) atau dengan kata lain secara seri. Metode komunikasi serial ini berbeda dengan metode komunikasi paralel dimana data dapat dikirimkan secara bersamaan. Pengiriman data secara serial relatif lebih lambat apabila dibandingkan dengan data yang dikirim secara paralel, namun kepraktisan yang tinggi dan hilangnya data (*data loss*) yang minim menjadi keunggulan dari komunikasi secara serial. Pada komunikasi serial dibutuhkan sinkronisasi antara pengiriman dan penerimaan data serial supaya data yang dikirimkan tidak terjadi kesalahan. Selain itu, ada beberapa parameter yang digunakan sebagai protokol komunikasi antara pengirim dan penerima. Protokol tersebut antara lain, yaitu:

- *Baud rate* : kecepatan data per detik
- *Data length* : panjang bit per karakter
- *Parity* : mode untuk mengatur integritas data
- *Start dan stop bit* : mengatur ada tidaknya bit awal dan akhir di setiap transmisi data

Pada Arduino Due memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, perangkat Arduino atau mikrokontroler lain, dan perangkat seperti *smartphone*, kamera dan lainnya. *Chip* SAM3X menyediakan satu perangkat keras (*hardware*) untuk UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) dan tiga perangkat keras USART (*Universal Synchronous and Asynchronous Receiver-Transmitter*) yang digunakan untuk komunikasi serial TTL.



**Gambar 2.23** Pengiriman data menggunakan komunikasi serial

Terdapat dua *port* USB berukuran *micro* pada Arduino Due, yaitu *programming port* dan *native USB port*. Pada *programming port* terkoneksi ke Atmega16U2, *port* ini bertujuan untuk menyediakan sebuah COM *port* virtual ke perangkat lunak yang berada pada komputer yang terkoneksi. Atmega16U2 juga terkoneksi ke perangkat UART pada SAM3X. Serial pada pin RXO dan TXO menyediakan komunikasi serial-USB untuk pemrograman Arduino Due melalui mikrokontroler Atmega16U2. Sedangkan pada *native USB port* terkoneksi langsung ke SAM3X dimana memungkinkan untuk komunikasi serial (CDC) melalui USB. Hal ini menyediakan komunikasi serial ke Serial Monitor atau aplikasi lainnya pada komputer serta juga memungkinkan Due untuk meniru sebuah *mouse* atau *keyboard* ke komputer yang terkoneksi.

## 2.4 Sistem Transmisi Data ke Internet

Setelah melalui pemrosesan sinyal baik secara analog maupun digital, kemudian data dari sinyal elektrokardiogram ditransmisikan melalui internet. Hal ini ditujukan supaya sinyal elektrokardiogram tersebut dapat dilihat tanpa terbatas jarak dan dari berbagai perangkat yang terhubung dengan koneksi internet. Pada bagian ini terdiri dari Internet, PHP, HTML, dan Firebase Realtime Database. Ketiga bagian ini penting dalam proses mentransmisikan data sinyal elektrokardiogram melalui koneksi internet dan menampilkan data melalui *website*.

### 2.4.1 Internet

Internet (*Interconnected Network*) adalah sebuah sistem komunikasi global yang menghubungkan komputer dan jaringan komputer di seluruh dunia tanpa mengenal batas teritorial, hukum, dan budaya. Internet digunakan sebagai media komunikasi jarak jauh dan penyebaran

informasi. Setiap komputer dan jaringan terhubung baik secara langsung maupun tidak langsung ke beberapa jalur utama yang disebut *internet backbone* dan dibedakan antara satu dengan yang lainnya dengan menggunakan nama unik yang biasa disebut *Internet Protocol* (IP).

Walaupun secara fisik internet adalah interkoneksi antar jaringan komputer namun secara umum internet harus dipandang sebagai sumber daya informasi. Isi dari internet adalah informasi, dapat digambarkan sebagai suatu *database* atau perpustakaan multimedia yang sangat besar dan lengkap. Bahkan internet dipandang sebagai dunia dalam bentuk lain (maya) karena hampir seluruh aspek kehidupan di dunia nyata ada di internet (Lani Sidharta, 1996)[17],[18].

### 2.4.2 PHP

PHP adalah bahasa pemrograman terbuka (*open source*) yang dikembangkan untuk pengembangan web. Penggunaan bahasa PHP memungkinkan para *web developer* untuk mengembangkan aplikasi *web* yang dinamis dan cepat. PHP yang merupakan singkatan dari ‘PHP: *Hypertext Preprocessor*’ ditulis dan diperkenalkan pertama kali sekitar tahun 1994 oleh Rasmus Lerdorf melalui situsnya untuk mengetahui siapa saja yang telah mengakses ringkasan *online*-nya. Bahasa PHP dapat diintegrasikan (*embedded*) ke dalam *web server* atau dapat berperan sebagai CGI yang terpisah[19]. Beberapa kelebihan dari bahasa PHP adalah sebagai berikut:

1. PHP adalah bahasa *open source* yang dapat digunakan di berbagai sistem operasi (linux, unix, dan windows) dan dapat dijalankan secara *runtime* melalui *console* serta juga dapat menjalankan perintah-perintah sistem.
2. Web *server* yang mendukung PHP dapat ditemukan di banyak tempat dari mulai IIS sampai dengan apache dengan konfigurasi yang terbilang mudah.
3. Bahasa pemrograman PHP adalah sebuah bahasa *script* yang tidak melakukan sebuah kompilasi dalam penggunaannya.

### 2.4.3 HTML

*Hyper Text Markup Language* (HTML) adalah bahasa inti dari hampir semua konten web. Sebagian besar dari apa yang terlihat pada layar *browser* adalah sebuah deskripsi, secara mendasar, menggunakan HTML. Lebih tepatnya, HTML adalah sebuah bahasa yang

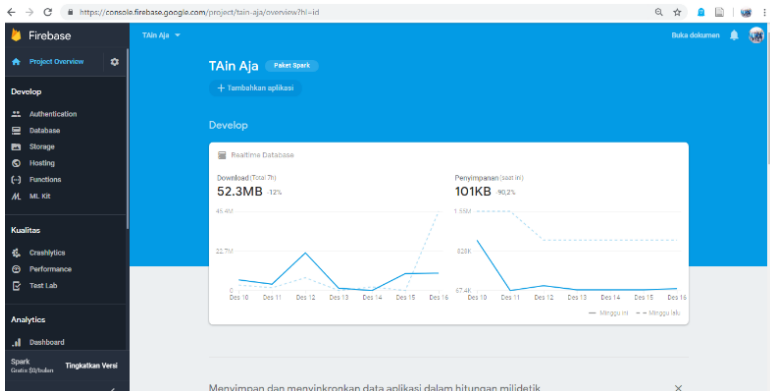
menggambarkan struktur dan isi semantik dari sebuah dokumen web. Konten dalam halaman web ditandai dengan elemen HTML seperti:

1. <img> merupakan elemen untuk mengintegrasikan gambar.
2. <title> merupakan elemen untuk judul dokumen.
3. <p> merupakan elemen untuk paragraf.
4. <div> merupakan elemen untuk divisi konten.

#### 2.4.4 Firebase *Realtime Database*

Firebase Realtime Database merupakan *database* yang disimpan di *cloud*. Data disimpan sebagai JSON dan disinkronkan secara *realtime* ke setiap klien yang terhubung. Ketika membuat sebuah aplikasi lintas *platform* dengan *Software Development Kit* (SDK) Android, iOS, maupun JavaScript (JS), semua klien akan berbagi sebuah *instance realtime database* dan menerima *update* terbaru secara otomatis.

Dengan menggunakan Firebase Realtime Database memungkinkan untuk membuat aplikasi lintas *platform* yang kaya akan fitur dengan menyediakan akses yang aman ke *database*, langsung dari kode sisi klien. Data yang diterima disimpan di *drive* lokal. Bahkan saat kondisi *offline* sekalipun, peristiwa *realtime* terus berlangsung sehingga pengguna akhir (*end user*) akan merasakan pengalaman yang responsif. Ketika koneksi internet pulih kembali, Firebase Realtime Database akan menyinkronkan perubahan data lokal dengan *update* jarak jauh yang terjadi selama klien *offline* sehingga setiap perbedaan akan otomatis digabungkan.



**Gambar 2 24** Tampilan konsol pada *realtime database* Firebase

Realtime Database menyediakan bahasa aturan berbasis ekspresi yang fleksibel, disebut dengan Aturan Keamanan Firebase Realtime Database, untuk menentukan metode strukturisasi data dan kapan data dapat dibaca atau ditulis. Ketika diintegrasikan dengan Firebase Authentication, pengembang (*developer*) dapat menentukan siapa yang memiliki akses ke data tertentu dan bagaimana mereka dapat mengaksesnya.

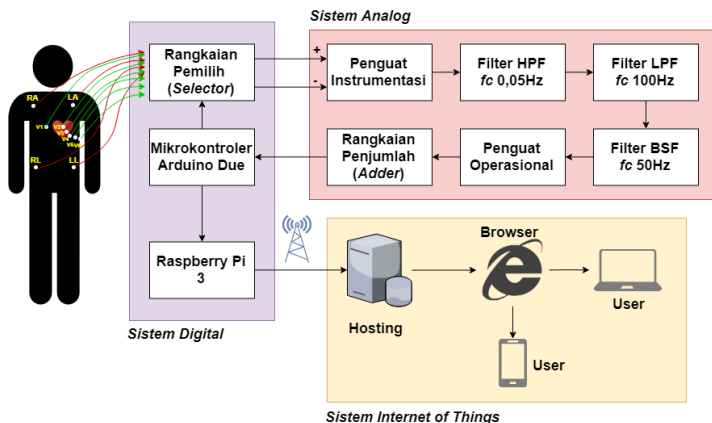
Firebase Realtime Database merupakan database NoSQL dimana memiliki sistem pengoptimalan dan fungsionalitas yang berbeda dengan *database* yang menggunakan SQL. API yang digunakan pada Realtime Database dirancang agar hanya mengizinkan operasi yang dapat dijalankan dengan cepat. Hal ini memungkinkan para *developer* untuk membangun pengalaman realtime yang luar biasa dan dapat melayani jutaan *user* tanpa mengorbankan kemampuan dalam memberikan *respons* yang cepat[20].



## BAB 3

### PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dijabarkan mengenai rancang bangun dari keseluruhan sistem mulai dari perangkat instrumentasi hingga penggabungan dengan sistem komunikasinya. Perancangan sistem dari perangkat elektrokardiograf 12-*leads* untuk memonitoring kesehatan jantung dari jarak jauh ini dibagi ke dalam beberapa bagian besar seperti perancangan perangkat keras (perangkat instrumentasi dan filter analog), perangkat lunak (filter digital dan beberapa program mikrokontroler), serta sistem komunikasi dan monitoring sinyal jantung dari jarak jauh. Diagram blok dari keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 3.1. Dari diagram blok tersebut dapat di lihat bahwa sinyal diproses sebanyak tiga tahap. Tahap pertama pada sistem instrumentasi elektrokardiograf, dimana sinyal jantung diperoleh dengan menggunakan elektroda, diperkuat oleh penguat instrumentasi, dan dibersihkan dari sinyal pengganggu dengan rangkaian filter analog sehingga didapatkan sinyal analog yang siap untuk diproses ke mikrokontroler. Pada mikrokontroler, sinyal analog tadi diubah menjadi sinyal digital, dikomputasi, dan dihitung untuk mendapat nilai yang diinginkan. Kemudian sinyal dikirimkan melalui komunikasi serial ke Raspberry Pi. Data yang diterima oleh Raspberry Pi melalui komunikasi serial tersebut kemudian ditransmisikan ke *database* atau *server* menggunakan jaringan internet.



Gambar 3.1 Diagram blok keseluruhan sistem

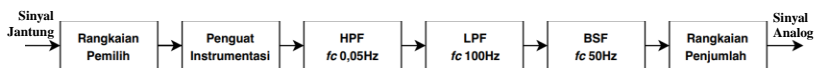
Sumber daya yang digunakan pada keseluruhan sistem yaitu dua buah baterai LiPo (*Lithium Polymer*) 3C dimana masing-masing baterai bertegangan 11.1V dengan kapasitas sebesar 2200 mAh. tegangan tersebut diregulasi menggunakan regulator 7806 untuk menghasilkan tegangan +6V dan regulator 7906 untuk menghasilkan tegangan -6V. Sumber daya yang didapatkan dari baterai ini digunakan untuk mengoperasikan sistem ECG dan filter analog. Sedangkan mikrokontroler mendapatkan daya dari kabel USB yang terhubung ke Raspberry Pi.

### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras elektrokardiograf secara garis besar terdiri atas 4 bagian, yaitu rangkaian pemilih (*selector*), rangkaian *Wilson Central Terminal* (WCT), rangkaian penguat instrumentasi (*amplifier*), rangkaian penyaring (*filter*), dan rangkaian penambah (*adder*). Perangkat elektrokardiograf yang dirancang memiliki tujuan yaitu merubah sinyal dari sinyal jantung yang diambil dari tubuh dengan menggunakan elektroda dimana memiliki amplitudo yang kecil dan banyak *noise* menjadi sinyal jantung analog yang memiliki amplitudo cukup besar, bersih dari *noise*, serta tegangan minimum diatas nol supaya dapat terbaca dan terkonversi dengan baik oleh *analog to digital converter* yang terdapat pada mikrokontroler Arduino Due.

#### 3.1.1 Perancangan Elektrokardiograf (EKG)

Sinyal jantung pada manusia memiliki amplitudo maksimal sebesar  $\pm 2\text{mV}$  dengan rentang frekuensi berkisar antara 0.05Hz sampai dengan 100Hz. Oleh karena hal tersebut maka dalam perancangan perangkat elektrokardiograf ini terdiri atas beberapa tahapan dimana diantaranya adalah rangkaian pemilih (*selector*), rangkaian penguat instrumentasi (*instrumentation amplifier*), rangkaian-rangkaian penyaring seperti *High Pass Filter* (HPF), *Low Pass Filter* (LPF), dan *Band Stop Filter* (BSF), serta rangkaian penjumlah tak membalik (*non-inverting adder*). Diagram blok dari perangkat EKG dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram blok rangkaian EKG

### 3.1.1.1 Rangkaian Pemilih (Selector)

Rangkaian pemilih ini berfungsi untuk meneruskan sinyal jantung yang telah berhasil disadap oleh elektroda dan dikontrol oleh mikrokontroler. Pada rangkaian ini terdiri atas tiga buah multiplekser dengan tipe IC 74HCT4051 dimana ketiga IC multiplekser ini disusun sedemikian rupa agar dapat meneruskan sinyal dari *lead* 1 sampai dengan *lead* 6 secara bergantian.

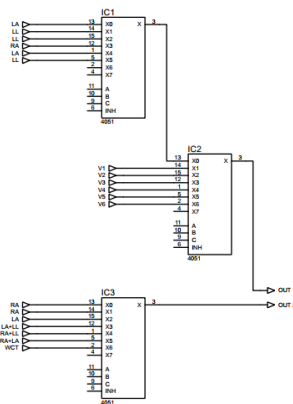
Sebelum sinyal jantung melalui rangkaian pemilih, sinyal terlebih dahulu melalui rangkaian filter sederhana, yaitu filter pasif *low pass*, dimana pada rangkaian ini hanya terdiri dari komponen RC. Untuk menentukan nilai dari komponen resistor dan kapasitor diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1.

$$f_c = \frac{1}{2\pi \times R \times C} \quad (3.1)$$

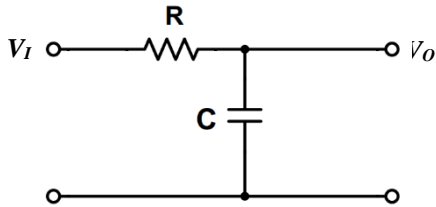
Filter *low pass* sederhana inii dirancang untuk memiliki frekuensi *cut-off* yang cukup tinggi, yaitu 160Hz. Apabila digunakan kapasitor bernilai 100nF, maka nilai dari resistor dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.1.

$$160Hz = \frac{1}{2\pi \times R \times 100nF}$$

$$R \cong 10k\Omega$$



**Gambar 3.3** Susunan dan konfigurasi pin IC 74HCT4051



**Gambar 3.4** Rangkaian filter sederhana

Setelah sinyal melewati filter pasif, sinyal jantung kemudian akan melewati rangkaian pengamanan. Rangkaian pengamanan ini selanjutnya akan dibahas pada subbab 3.1.1.8 mengenai rangkaian sumber dan proteksi. Selanjutnya sinyal akan dimasukkan ke dalam rangkaian *buffer* yang menggunakan IC CA3240. Rangkaian *buffer* ini ditujukan untuk menghindari adanya arus balik. Oleh karena itu digunakan IC CA3240 yang memiliki impedansi tinggi  $Z_{IN}$  hingga  $1.5T\Omega$  dan arus *input* yang sangat rendah, hingga  $10pA$  pada  $\pm 15V$ . Berikutnya sinyal jantung memasuki tahap seleksi oleh rangkaian pemilih.

**Tabel 3.1** Tabel logika kontrol IC 74HCT4051

Lead	IC 1	IC 2	IC 3
I	000	000	000
II	001	000	000
III	010	000	010
V1	XXX	001	110
V2	XXX	010	110
V3	XXX	011	110
V4	XXX	100	110
V5	XXX	101	110
V6	XXX	110	110
aVR	011	000	011
aVF	000	000	100
aVL	010	000	101

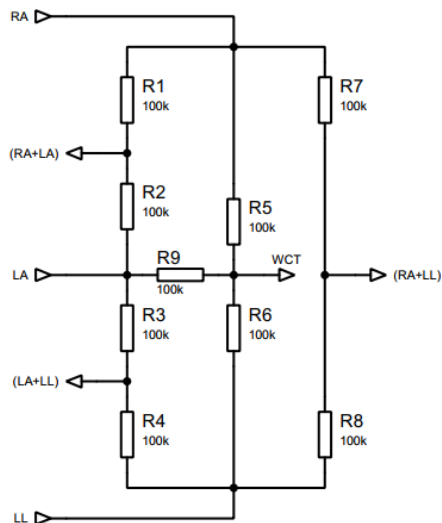
Dengan melihat *datasheet*, IC 74HCT4051 memiliki 8 pin *input* sinyal dengan tiga buah pin kontrol yang berguna untuk mengatur sinyal mana yang akan diteruskan ke rangkaian instrumentasi berikutnya. Kontrol tersebut diberikan dengan memberikan logika 1 (HIGH) atau 0 (LOW) pada ketiga pin kontrol tersebut. Sebagai contoh apabila pada pin kontrol diberikan logika 000 maka akan meneruskan sinyal dari pin *input*

0, dan apabila diberikan logika 001 maka akan meneruskan sinyal dari pin *input* 1, berlaku seterusnya. Dari susunan tiga buah IC multiplekser ini memberikan dua buah pin *output* yang akan diteruskan ke rangkaian penguat instrumentasi.

Mengikuti persamaan matematis yang telah dijabarkan pada Bab 2 mengenai perhitungan EKG 12-lead, tanda positif berarti sinyal diteruskan pada pin *input* positif penguat instrumentasi dan tanda negatif menunjukkan sinyal akan diteruskan menuju pin *input* negatif pada penguat instrumentasi. Susunan dari ketiga IC multiplekser ini dapat dilihat pada Gambar 3.3. Serta logika kontrol yang diberikan pada setiap IC dapat dilihat pada Tabel 3.1.

### 3.1.1.2 Rangkaian Wilson Central Terminal (WCT)

Rangkaian *Wilson Central Terminal* (WCT) ini merupakan rangkaian untuk mendapatkan tegangan referensi dari pengambilan di tiga titik tubuh yang berbeda untuk menghasilkan tegangan rata-rata antara tiga titik tubuh tersebut. Ketiga titik pengambilan tersebut adalah *Right Arm* (RA), *Left Arm* (RL) dan *Left Leg* (LL). Rangkaian WCT ini terhubung langsung dengan elektroda dan rangkaian pemilih. Skema dari rangkaian WCT dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Skematik rangkaian WCT

### 3.1.1.3 Rangkaian Penguat Instrumentasi

Rangkaian penguat instrumentasi pada perangkat EKG bertujuan untuk memperkuat sinyal jantung yang sebelumnya memiliki amplitudo berkisar pada skala milivolt (mV) sekaligus untuk mereduksi *noise* selama akuisisi sinyal dilakukan. Penguat instrumentasi merupakan susunan dari beberapa penguat operasional. Namun dalam pengerjaan kali ini digunakan IC AD620 sebagai penguat instrumentasi. Pemilihan AD620 didasari pada nilai CMRR yang tinggi yang dimiliki oleh IC tersebut.

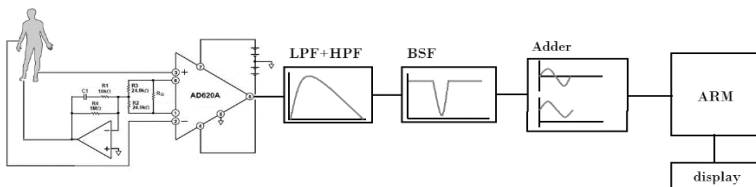
*Input* penguat instrumentasi ini berasal dari *output* rangkaian pemilih. Dimana *output* 1 dari rangkaian pemilih dihubungkan ke *input* positif AD620 sedangkan *output* 2 dari rangkaian pemilih dihubungkan menuju *input* negatif dari AD620. Besarnya nilai penguatan (*gain*) pada penguat instrumentasi ini ditentukan oleh nilai potensiometer  $R_G$  dimana besarnya nilai  $R_G$  tersebut dapat diatur dengan cara memutar *screw* untuk mendapatkan *gain* yang diinginkan.

Sinyal jantung yang pada awalnya memiliki amplitudo dalam orde mV (milivolt) harus diperbesar menjadi orde V (volt) agar dapat terkonversi dengan baik oleh ADC. Oleh karena itu, penguat instrumentasi ini dirancang untuk memiliki besaran penguatan sebesar  $\pm 1000$  kali. *Gain* yang diinginkan tersebut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.2.

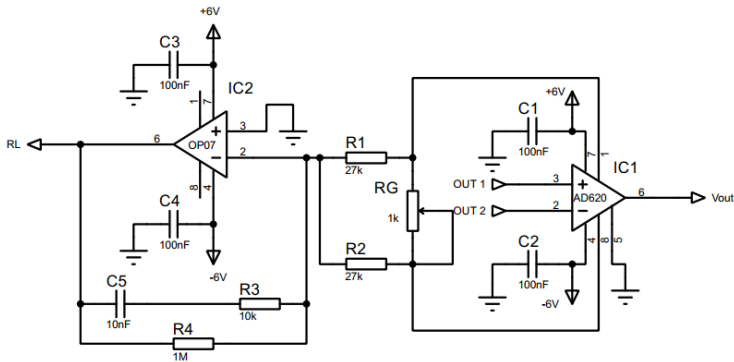
$$1000 = \frac{49,4k\Omega}{R_G} + 1 \quad (3.2)$$

Dan didapatkan nilai  $R_G$  untuk penguatan  $\pm 1000$  kali adalah

$$R_G \cong 50$$



**Gambar 3.6** Diagram blok pemrosesan sinyal elektrokardiogram



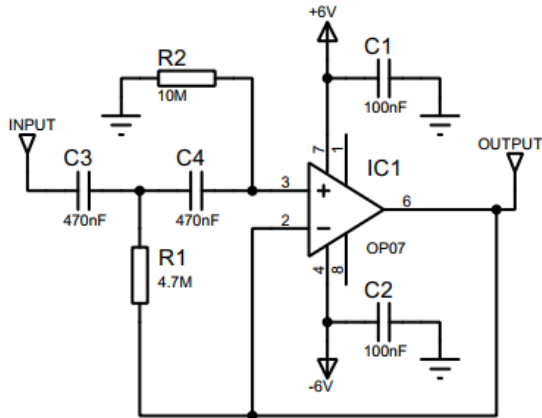
**Gambar 3.7** Skematik rangkaian penguat instrumentasi

Untuk menghindari *noise* yang ikut teramplifikasi digunakan rangkaian *drive right leg*. Rangkaian *drive right leg* yang diperoleh berdasarkan rekomendasi dari *datasheet* AD620 bekerja dengan prinsip *buffer*. Pada rangkaian ini terdiri atas penguat operasional IC OP07, resistor *feedback* dengan nilai  $1\text{M}\Omega$ , resistor pada bagian *input* sebesar  $27\text{k}\Omega$  sebanyak dua buah, serta terdapat pula kapasitor untuk menjaga kestabilan sumber tegangan dari rangkaian. *Input* dari rangkaian *drive right leg* merupakan setengah dari selisih tegangan antara AD620. Rangkaian ini dirancang untuk memberi *input* tegangan agar terjadi keseimbangan *ground* antara tubuh dengan rangkaian sistem. *Output* dari rangkaian *drive right leg* dihubungkan ke kaki kanan atau *Right Leg* (RL) sebagai sumber tegangan referensi yang menjadi *ground* dari sinyal tubuh.

### 3.1.1.4 Perancangan High Pass Filter 0.05Hz

Rangkaian *High Pass Filter* ini ditujukan untuk meredam *noise* dari sinyal gerakan otot maupun yang berasal dari tegangan DC yang terbawa rangkaian. Rangkaian filter ini di desain menggunakan topologi *Sallen-key* dan berorde 2 dengan 1 tahapan. Untuk menghindari terpotongnya sinyal jantung, HPF di rancang untuk memiliki frekuensi *cut-off* sebesar 0.05Hz. Perhitungan persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2}} \quad (3.3)$$



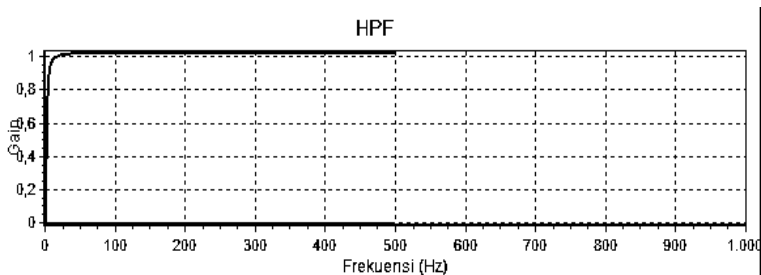
**Gambar 3.8** Skematik rangkaian HPF

Nilai kapasitansi  $C_1$  dan  $C_2$  apabila  $C_1 = C_2 = 470nF$  dan nilai resistor yang diharapkan memenuhi kondisi dimana  $R_1 = 2R_2$ , maka apabila dimasukkan ke Persamaan 3.3 akan menghasilkan nilai sebagai berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2}} \quad (3.4)$$

$$0.05 = \frac{1}{2\pi\sqrt{470nF \times 470nF \times R_1 \times R_2}}$$

$$R_1 = 4.7M\Omega ; R_2 = 10M\Omega$$



**Gambar 3.9** Respon frekuensi *High Pass Filter*



### 3.1.1.5 Perancangan Low Pass Filter 100Hz

Rangkaian *Low Pass Filter* ditujukan untuk meredam *noise* yang berasal dari interferensi radio (RF) dan mencegah *anti aliasing* ketika disampling yang terjadi karena lingkungan sekitar. Rangkaian filter ini di desain menggunakan topologi, orde, dan tahapan yang sama dengan filter HPF, yaitu topologi *Sallen-key*, orde 2, dan tahapan sebanyak 1 kali. Frekuensi *cut-off* pada filter LPF ini dirancang pada 100Hz.

Skematik dari rangkaian filter *low pass filter* dapat dilihat pada Gambar 3.10 dan perhitungan persamaannya adalah sebagai berikut:

$$R_1 = R_2 = R = 51k\Omega$$

$$C_1 = 2C_2$$

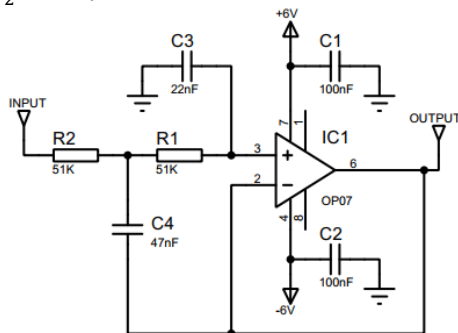
Maka dapat dirancang dengan persamaan frekuensi *cut-off* pada Persamaan 3.4.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 \times C_2 \times R_1 \times R_2}}$$

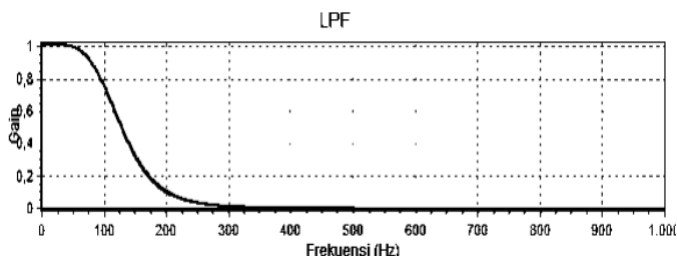
$$100Hz = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 \times C_2 \times 51k\Omega \times 51k\Omega}}$$

Sehingga akan didapatkan nilai *C* sebagai berikut:

$$C_1 = 22nF ; C_2 = 47nF$$



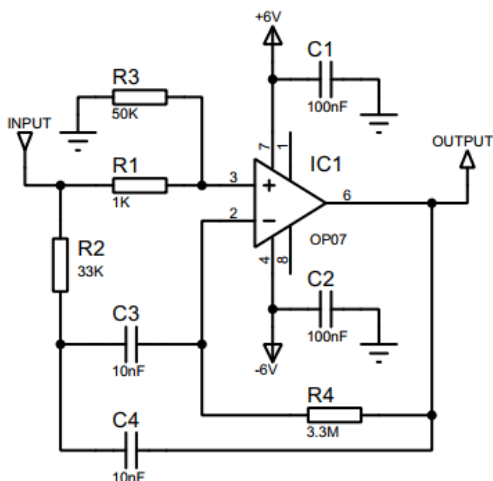
**Gambar 3.10** Skema rangkaian LPF



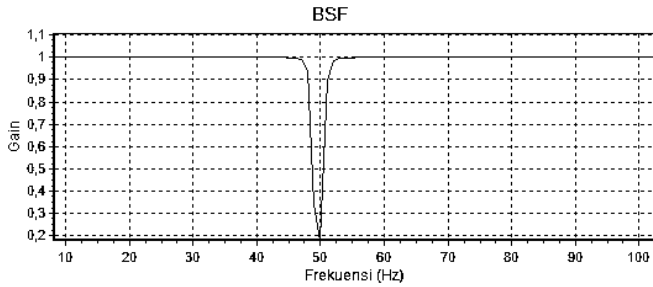
**Gambar 3.11** Respon frekuensi *Low Pass Filter*

### 3.1.1.6 Perancangan Band Stop Filter 50Hz

Setelah sinyal melalui rangkaian HPF dan LPF, sinyal tersebut masih belum bersih dari *noise*. Rangkaian *Band Stop Filter* ini ditujukan untuk meredam *noise* yang berasal dari jala-jala listrik. Interferensi dengan sinyal jala-jala ini terjadi karena adanya komponen-komponen yang terbuka sehingga dapat menangkap frekuensi dari jala-jala (di Indonesia frekuensi jala-jala sebesar 50Hz). Oleh karena itu, rangkaian filter ini di desain untuk memiliki frekuensi *cut-off* yang sama dengan frekuensi jala-jala yaitu pada 50Hz. Seperti rangkaian filter sebelumnya, rangkaian BSF ini dirancang dengan menggunakan topologi *Sallen-key*, berorde 2, dan dengan 1 kali tahapan.



**Gambar 3.12** Skematik rangkaian BSF



**Gambar 3.13** Respon frekuensi *Band Stop Filter*

Perhitungan persamaan rangkaiannya adalah sebagai berikut:

$$C_1 = C_2 = 10nF$$

$$\omega_r = 2\pi \times f \quad (3.5)$$

$$\omega_B = 2\pi \times f \quad (3.6)$$

$$\omega_r = 2 \times 3.14 \times 50 = 314$$

$$\omega_B = 2 \times 3.14 \times 10 = 62.8$$

$$Q = \frac{\omega_r}{\omega_B} = \frac{314}{62.8} = 5 \quad (3.7)$$

$$R_1 = \frac{2}{\omega_B \times C} = \frac{2}{62.8 \times 10 \times 10^{-9}} = \frac{2 \times 10^{-9}}{628} = 628\Omega \approx 1k\Omega \quad (3.8)$$

$$R_2 = \frac{R_4}{4 \times Q^2} = \frac{3.2 \times 10^6}{4 \times 5^2} = 32 \times 10^3 = 32k\Omega \quad (3.9)$$

### 3.1.1.7 Perancangan Rangkaian Penjumlah (Adder)

Setelah sinyal jantung melalui beberapa proses peredaman *noise* oleh rangkaian-rangkaian filter, tahap berikutnya adalah *adder* atau rangkaian penjumlah. Tahap ini penting dilakukan karena sinyal EKG memiliki rentang tegangan dengan rata-rata negatif. Hal ini yang membuat sinyal tersebut tidak dapat terbaca oleh ADC pada mikrokontroler yang hanya memiliki *range* pembacaan 0V hingga 3.3V. Rangkaian penjumlah atau

*adder* berfungsi untuk menaikkan *baseline* sinyal EKG yang memiliki *range* antara -1V hingga 1V. Sehingga diharapkan sinyal *output* dari EKG memiliki tegangan minimum berada diatas 0V. Berikut adalah perhitungan persamaan rangkaian *adder*.

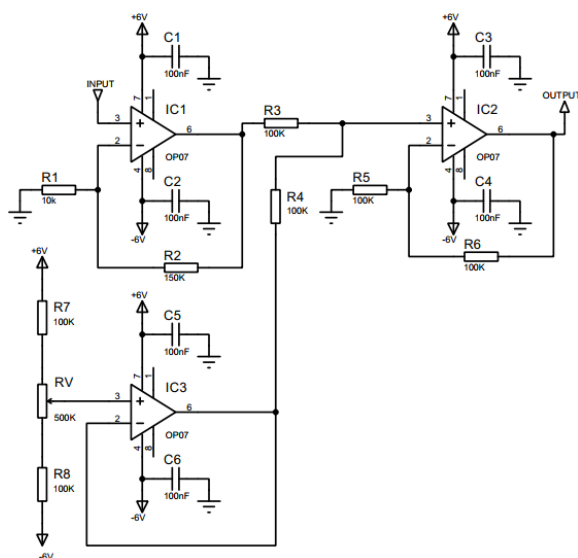
$$R_1 = R_2 = R_{f1} = R_{f2} = R = 10k\Omega$$

Sehingga dengan Persamaan 3.10 akan diperoleh

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_{f2}}{R_{f1}}\right) \times \left(V_1 \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_2 \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) \quad (3.10)$$

$$V_{out} = V_1 + V_2 \quad (3.11)$$

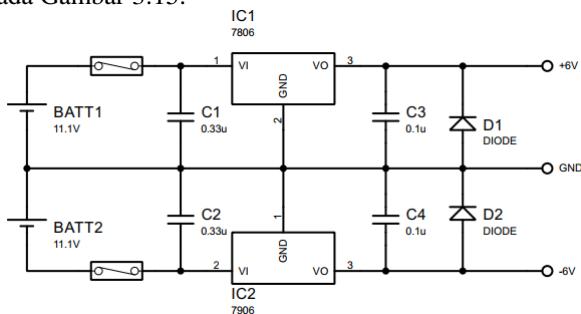
Dimana  $V_1$  merupakan sinyal,  $V_2$  adalah tegangan *offset* yang ditambahkan dan  $V_{out}$  adalah tegangan *output* yang akan menjadi *input* ke ADC mikrokontroler. Pada rangkaian *adder* ini juga ditambahkan rangkaian *buffer* atau penyangga dengan tujuan untuk memperkuat arus sinyal *input*.



**Gambar 3.14** Skematik rangkaian penjumlah (*adder*)

### 3.1.1.8 Perancangan Rangkaian Sumber dan Proteksi

Perancangan rangkaian sumber ditujukan untuk menghasilkan tegangan yang akan digunakan pada rangkaian EKG, terutama untuk men-supply tegangan positif dan tegangan negatif IC (AD620 dan OP07). Pada rangkaian sumber ini digunakan regulator tegangan 7806 untuk menghasilkan tegangan positif +6V, sedangkan untuk menghasilkan tegangan negatif digunakan regulator tegangan 7906 yang akan menghasilkan tegangan -6V. Desain dari rangkaian sumber ini dapat dilihat pada Gambar 3.15.

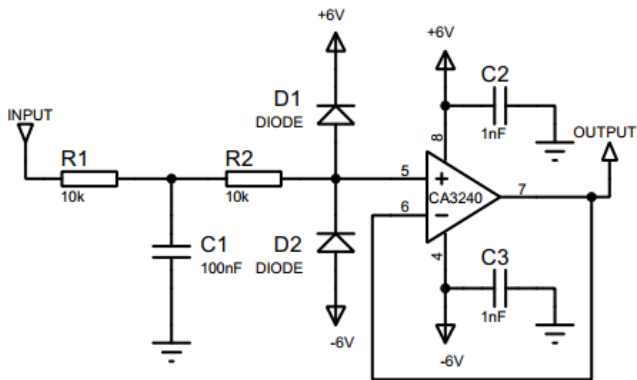


**Gambar 3.15** Skematik rangkaian sumber tegangan

Untuk memberikan proteksi terhadap arus berlebih atau *short circuit*, pada rangkaian sumber ini juga dipasangkan *fuse* yang bernilai 1A pada masing-masing tegangan sumber. *Fuse* ini akan terputus secara otomatis apabila pada rangkaian terjadi loncatan arus, loncatan tegangan, maupun *short circuit*. Pemilihan nilai kapasitor dan dioda mengikuti yang terdapat didalam *datasheet* 7806 mengenai ‘Split Power Supply’.

Selain proteksi pada rangkaian sumber, proteksi juga diberikan pada rangkaian instrumentasi itu sendiri. Proteksi ini ditujukan untuk memastikan keamanan rangkaian serta keamanan bagi penggunaannya. Rangkaian proteksi pada penguat instrumentasi terdapat di masing-masing lead yang terdiri atas komponen resistor dan dioda. Resistor digunakan untuk membatasi arus yang masuk sedangkan dioda berfungsi sebagai pembatas tegangan. Apabila tegangan *input* berada diantara +6V sampai -6V, maka sinyal jantung dari *lead* akan dilewatkan. Apabila sinyal *input* berada diatas +6V, maka dioda positif menjadi *forward bias* dan dioda negatif menjadi *reverse bias* sehingga arus akan mengalir ke dioda positif. Sebaliknya apabila sinyal *input* memiliki tegangan dibawah -6V, maka dioda positif akan menjadi *reverse bias* dan dioda negatif

menjadi *forward bias* sehingga menyebabkan arus akan mengalir ke dioda negatif. Rangkaian ini memiliki fungsi untuk memberikan perlindungan pada instrumentasi EKG apabila kondisi jantung pasien perlu dipicu dengan menggunakan perangkat *defibrillator*. Perangkat *defibrillator* dapat merusak keseluruhan rangkaian instrumentasi EKG karena menghasilkan tegangan yang sangat tinggi. Desain dari rangkaian proteksi pada instrumentasi EKG dapat dilihat pada Gambar 3.16.



**Gambar 3.16** Rangkaian pre filter, proteksi, dan *buffer* CA3240

### 3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Setelah sinyal jantung melalui tahapan pengolahan secara analog, tahap berikutnya adalah pengolahan sinyal secara digital. Sinyal analog tersebut diteruskan ke komponen *analog to digital converter* (ADC) yang terdapat pada mikrokontroler Arduino Due untuk dapat diolah secara digital. Kemudian sinyal yang sudah terkonversi menjadi bilangan-bilangan digital dikirimkan ke Raspberry Pi melalui kabel serial. Dari Raspberry Pi, data-data tersebut dikirimkan ke layanan *real-time* database, Firebase, kemudian kumpulan data tersebut secara *real-time* ditampilkan sebagai grafik melalui halaman *website*. Diagram alur proses pengolahan data secara digital dapat dilihat pada Gambar 3.17.



**Gambar 3.17** Diagram blok keseluruhan sistem perangkat lunak

### 3.2.1 Perancangan *Analog to Digital Converter* (ADC)

Dengan menggunakan komponen *analog to digital converter* yang terdapat pada mikrokontroler Arduino Due, sinyal analog *disampling* dan dikonversikan menjadi sinyal digital. Proses pembacaan dan konversi oleh ADC ini wajib dilakukan dengan tujuan sinyal dapat dibaca dan diproses oleh mikrokontroler. Dalam proses *sampling* digunakan fitur millis pada Arduino yang kemudian digunakan sebagai *timer* untuk memastikan frekuensi *sampling* yang diinginkan, yaitu sebesar 1000Hz, dimana

$$T_{sampling} = \frac{1}{1000Hz} = 1 \times 10^{-3} = 0.001s = 1ms$$

Fitur ADC yang digunakan pada Arduino secara *default* menggunakan sistem 10bit, namun untuk menambah ketelitian pada pembacaan data resolusi yang digunakan adalah 12bit. Arduino Due bekerja dengan tegangan maksimum +3.3V. Sehingga untuk resolusinya dapat ditentukan sebagai berikut:

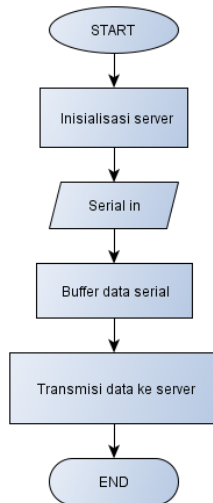
$$Resolusi = \frac{V_{ref}}{2^{12} - 1} = \frac{3300mV}{4095} = 0.80586 mV/bit$$

Untuk menginisiasi agar proses *sampling* berjalan pada frekuensi 1000Hz, maka pengaturan jarak antar millis atau yang disebut dengan *interval* diatur pada 1ms. Kemudian untuk mengkonversi data ADC menjadi nilai tegangan dalam milivolt dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan matematis berikut.

$$Tegangan = ADC \times \frac{V_{ref}}{2^{12} - 1} = ADC \times \frac{3300mV}{4095}$$

### 3.2.2 Perancangan Komunikasi Serial dan Transmisi Data

Komunikasi antara mikrokontroler Arduino Due dengan Raspberry Pi dilakukan menggunakan kabel *Universal Serial Bus* (USB). Kabel USB yang digunakan yaitu *micro USB to USB* tipe-A. *Micro USB* dihubungkan ke *port programming* pada Arduino Due dan USB tipe-A dihubungkan ke *port USB* pada Raspberry Pi. Komunikasi serial ini diatur dengan *baudrate* berada pada angka 9600. Data serial yang dikirimkan oleh Arduino Due kemudian dibaca oleh Raspberry Pi dengan menggunakan *script* menggunakan bahasa pemrograman python.



**Gambar 3.18** *Flowchart* transmisi data dari Raspberry Pi ke *server*

Data serial yang terbaca oleh Raspberry Pi kemudian ditransmisikan ke *server* menggunakan jaringan internet. Sebelumnya Raspberry Pi wajib terhubung ke jaringan internet, baik menggunakan kabel LAN ataupun menggunakan koneksi *wireless*. Proses transmisi data dari Raspberry Pi ke *server* dapat dilihat pada Gambar 3.18.

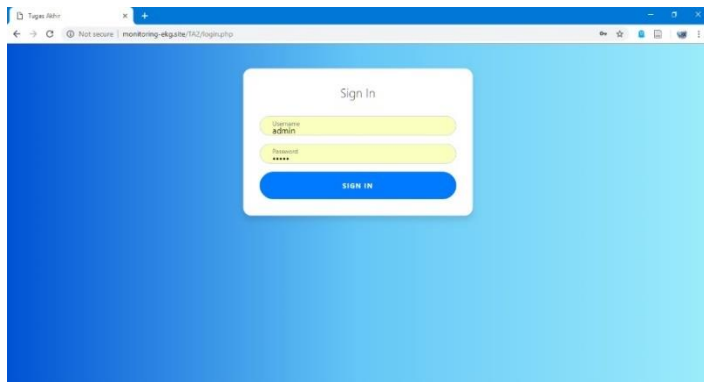
### 3.2.3 Perancangan Sistem Monitoring Sinyal EKG

Sistem monitoring sinyal elektrokardiogram (EKG) dibuat dalam bentuk sebuah tampilan *website*. Sistem ini digunakan untuk melihat bentuk dari sinyal EKG, dimana data sinyal yang sudah ditransmisikan ke *server* kemudian ditampilkan menggunakan *line chart*. Tampilan *website* monitoring sinyal EKG ini terbagi ke dalam tiga bagian, yaitu tampilan untuk *login*, tampilan sinyal EKG secara *realtime*, dan tampilan sinyal EKG dari semua data yang ada di *server* (tidak *real-time*). *Website* yang digunakan untuk memonitoring sinyal EKG dapat diakses di halaman [www.monitoring-ekg.site](http://www.monitoring-ekg.site). Layanan *website* ini menggunakan jasa hosting dari Hostinger Indonesia.

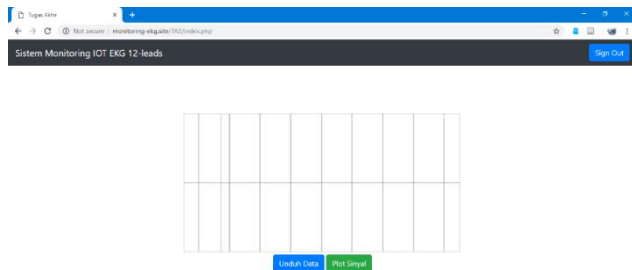
Tampilan atau halaman *login* mempunyai tujuan untuk melindungi privasi dari seorang pasien, sehingga tampilan sinyal EKG hanya dapat



dilihat oleh petugas medis yang bersangkutan. Kemudian tampilan halaman sinyal EKG secara *real-time* ditujukan kepada operator EKG, dimana operator dapat melihat secara langsung sinyal EKG lead berapa yang sedang diambil. Untuk tampilan halaman sinyal EKG secara keseluruhan ini lebih ditujukan untuk dokter yang memeriksa kondisi dan kesehatan jantung pasien. Hal ini dikarenakan data EKG dari keseluruhan lead ditampilkan dalam satu *chart* atau grafik.



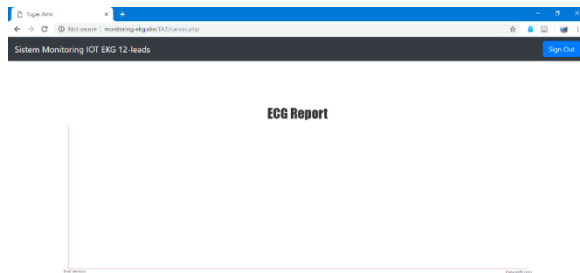
**Gambar 3.19** Tampilan untuk halaman login



**Gambar 3.20** Tampilan *realtime chart* saat tidak ada data



**Gambar 3.21** Tampilan *realtime chart* saat diberi data sinyal sinus



**Gambar 3.22** Tampilan halaman *chart* EKG ketika tidak ada data



**Gambar 3.23** Tampilan halaman *chart* EKG diberi data sinyal sinus

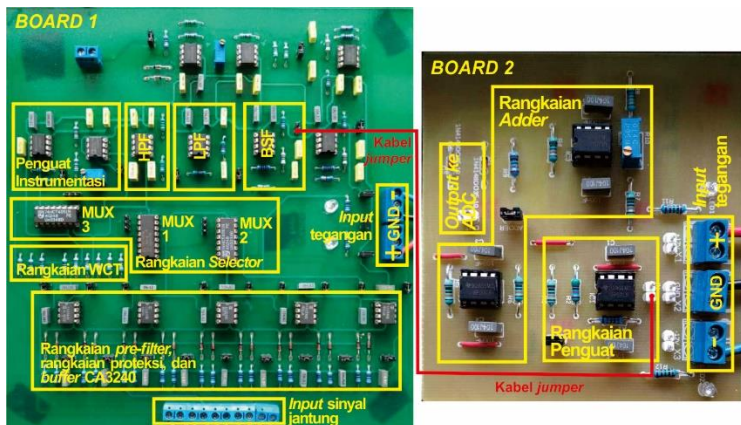
## BAB 4

### PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dan analisa terhadap perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*) yang telah dirancang. Pengujian dilakukan secara bertahap. Pertama dilakukan pengujian per rangkaian dan kemudian dilakukan pengujian secara keseluruhan sistem. Pengujian dan analisa diperlukan untuk mengetahui apakah rangkaian dan sistem yang dirancang sudah sesuai dengan teori atau kinerja yang diberikan oleh perangkat sesuai dengan yang diharapkan. Sebagai informasi tambahan, semua pengujian dilakukan di Teknik Elektro ITS ruang B.202.

#### 4.1 Pengujian Perangkat Keras Elektrokardiograf (EKG)

Pengujian pada perangkat keras EKG dibagi ke dalam beberapa bagian, dimana masing-masing rangkaian yang menyusun perangkat EKG akan diujikan. Bagian-bagian tersebut adalah pengujian terhadap penguat instrumentasi, pengujian *High Pass Filter* (HPF), *Low Pass Filter* (LPF), *Band Stop Filter* (BSF), pengujian rangkaian penguat tak membalik, serta pengujian rangkaian penjumlah (*adder*). Pengujian dilakukan diatas papan sirkuit yang sudah dicetak dengan menggunakan teknik *through-hole*. Realisasi perangkat EKG dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Realisasi rangkaian elektrokardiograf

#### 4.1.1 Pengujian Penguat Instrumentasi

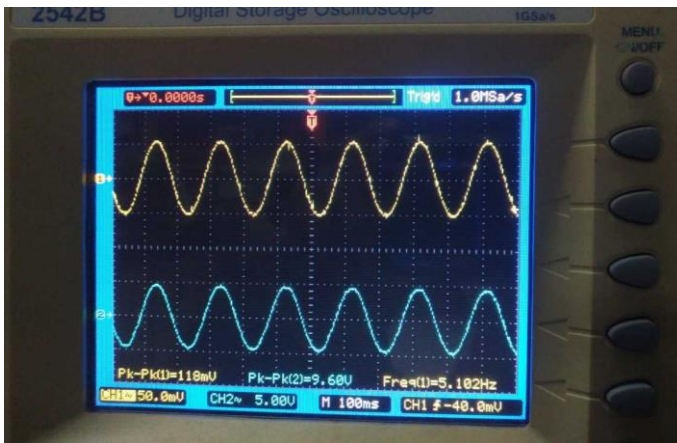
Pengujian penguat instrumentasi dilakukan dengan memberikan sinyal sinusoidal yang dihasilkan dari *function generator*. Sinyal tersebut diatur agar memiliki amplitudo sebesar  $\pm 100\text{mV}$  dengan frekuensi sebesar  $\pm 5\text{Hz}$ . *Output* sinyal dari *function generator* dihubungkan ke *input* positif dari penguat instrumentasi sedangkan *output* negatif *function generator* dan *input* negatif penguat instrumentasi dihubungkan ke *ground*. Resistor *gain* ( $R_G$ ) dimana berupa resistor variabel *multiturn* yang digunakan sebagai pengatur besarnya penguatan diatur pada nilai  $\pm 80\Omega$ .

Pengukuran dilakukan menggunakan osiloskop dimana *channel 1* dihubungkan ke *input* dari penguat instrumentasi dan *channel 2* dihubungkan ke *output* dari penguat instrumentasi. Berikut adalah hasil penguatan yang didapatkan dari pengamatan pada osiloskop:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{9600\text{mV}}{118\text{mV}} = 81.36$$

Pengukuran resistor *gain*  $R_G$  dengan menggunakan multimeter mendapat nilai sebesar  $662\Omega$ , maka

$$A_v = \frac{49,4\text{k}\Omega}{662\Omega} = 73.51$$



Gambar 4.2 Hasil pengujian *Instrumentation Amplifier* (AD620)

#### 4.1.2 Pengujian *High Pass Filter* (HPF)

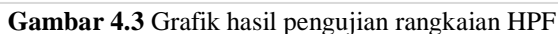
Pengujian *High Pass Filter* (HPF) dilakukan dengan memberikan sinyal sinus yang dihasilkan dari *function generator*, dimana *output function generator* dihubungkan ke *input* pada rangkaian HPF. Sinyal sinus yang diberikan berada pada nilai amplitudo yang sama  $\pm 2V$ , namun memiliki nilai frekuensi yang berbeda-beda. Batas nilai frekuensi yang diujikan berada diantara nilai frekuensi *cut-off* dari HPF, dengan pengambilan data setiap 0.1Hz. Pengujian rangkaian HPF ini sulit untuk dilakukan mengingat perangkat osiloskop yang digunakan memiliki kendala ketelitian pada frekuensi rendah dan keterbatasan kemampuan *function generator* untuk menghasilkan frekuensi rendah.

Rangkaian HPF dirancang untuk memiliki nilai frekuensi *cut-off* di 0.05Hz. Berdasarkan teori, pada saat frekuensi *input* sama dengan frekuensi *cut-off*nya, maka nilai penguatan yang diharapkan adalah sebesar 0.707. Namun dari pengujian yang dilakukan didapatkan nilai sebagai berikut:

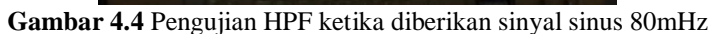
**Tabel 4.1** Pengujian rangkaian *High Pass Filter* (HPF)

Frekuensi Input (Hz)	Vpp Input (V)	Vpp Output (V)
1	2.02	2.02
0.9	2.02	2.02
0.8	2.02	2.02
0.7	2.02	2.02
0.6	2.04	2.00
0.5	2.04	2.02
0.4	2.02	2.00
0.3	2.02	2.02
0.2	2.02	2.02
0.1	1.98	1.92
0.08	2.04	1.92

Pada pengujian rangkaian *high pass filter* hanya bisa dilakukan pada frekuensi input mulai dari 1Hz sampai dengan 0.08Hz. Hal ini disebabkan oleh *function generator* yang digunakan tidak dapat menghasilkan sinyal

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1.92}{2.04} = 0.94$$


- Frekuensi *cut-off* tidak dapat ditentukan karena *function generator* yang digunakan pada saat pengujian tidak mampu menghasilkan frekuensi dibawah 0.08Hz.
- Penguatan pada daerah *passband* yaitu sebesar 1 kali.



### 4.1.3 Pengujian Low Pass Filter (LPF)

Pengujian *low pass filter* dilakukan dengan memberikan sinyal sinus yang dihasilkan dari *function generator*, dimana *output function generator* dihubungkan ke *input* pada rangkaian LPF. Sinyal sinus yang diberikan berada pada nilai amplitudo yang sama  $\pm 2V$ , namun memiliki nilai frekuensi yang berbeda-beda. Batas nilai frekuensi yang diuji berada diantara 20Hz sampai dengan 220Hz, dengan pengambilan data setiap 20Hz.

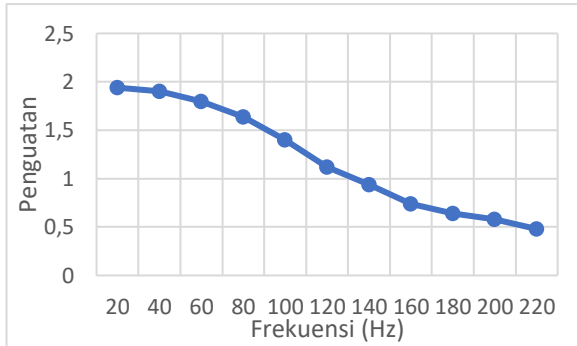
Rangkaian LPF dirancang dengan nilai frekuensi *cut-off* di 100Hz. Apabila melihat teori yang ada ketika frekuensi *input* sama dengan frekuensi *cut-off*, maka nilai penguatan akan sebesar 0.707. Namun dari pengujian yang dilakukan didapatkan nilai sebagai berikut:

**Tabel 4.2** Pengujian rangkaian *Low Pass Filter* (LPF)

Frekuensi Input (Hz)	Vpp Input (V)	Vpp Output (V)
20	1.96	1.94
40	1.90	1.90
60	1.94	1.80
80	1.92	1.64
100	1.94	1.40
120	1.98	1.12
140	1.98	0.94
160	1.98	0.74
180	2.02	0.64
200	2.02	0.58
220	2.02	0.48

Berdasarkan hasil pengujian, frekuensi input yang mendekati penguatan sebesar 0.707 adalah frekuensi 100Hz. Apabila dihitung secara matematis dengan menggunakan rumus maka didapatkan hasil sebagai berikut:

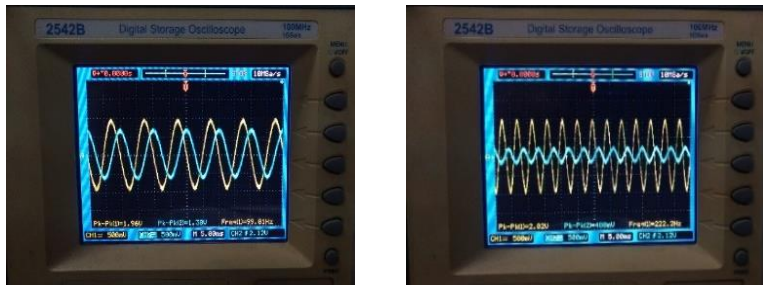
$$Av = \frac{Vo}{Vi} = \frac{1.40}{1.94} = 0.721$$



**Gambar 4.5** Grafik hasil pengujian rangkaian LPF

Rangkaian *low pass filter* yang dirancang sudah mendekati dengan apa yang diharapkan, dimana frekuensi *cut-off* pada saat pengujian sesuai dengan perancangan yaitu sebesar 100Hz. Namun perbedaan nilai komponen antara perancangan secara teori dengan nilai komponen pada saat pengujian masih terjadi. Hal ini dibuktikan dengan nilai penguatan pada frekuensi 100Hz yang tidak tepat di 0.707. Ketika dilakukan pengujian kembali dengan memberi sinyal *input* sinus berfrekuensi 99Hz dengan tegangan  $V_{pp}$  *input* 1.96V (dapat dilihat pada Gambar 4.4), didapatkan tegangan  $V_{pp}$  *output* sebesar 1.38V. Apabila dihitung secara matematis dengan menggunakan rumus penguatan, maka:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1.38}{1.96} = 0.704$$



**Gambar 4.6** Pengujian LPF ketika diberikan sinyal sinus 99Hz (kiri) dan 220Hz (kanan)



Dari pengujian terhadap rangkaian LPF diatas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- Frekuensi *cut-off* dengan nilai penguatan mendekati 0.707 adalah 99Hz.
- Penguatan pada daerah *passband* adalah sebesar 1 kali.
- Kesalahan frekuensi *cut-off* adalah sebesar  $100\text{Hz} - 99\text{Hz} = 1\text{Hz}$ .

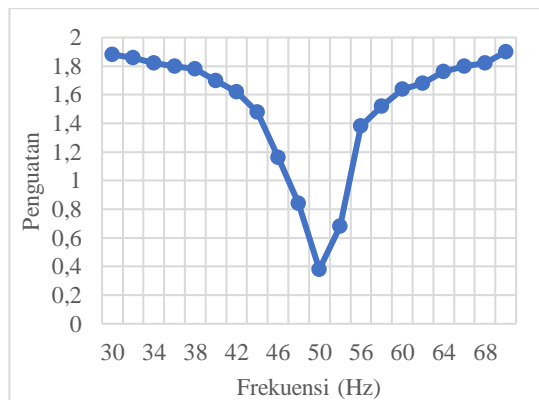
#### 4.1.4 Pengujian *Band Stop Filter* (BSF)

Pada pengujian *band stop filter* dilakukan dengan memberikan sinyal sinus yang dihasilkan dari *function generator*, dimana *output function generator* dihubungkan ke *input* pada rangkaian BSF. Sinyal sinus yang diberikan berada pada nilai amplitudo yang sama  $\pm 2\text{V}$ , namun memiliki nilai frekuensi yang berbeda-beda. Batas nilai frekuensi yang diuji berada diantara 30Hz sampai dengan 70Hz, dengan pengambilan data setiap 2Hz.

Rangkaian BSF dirancang untuk meredam frekuensi 50Hz, dimana frekuensi tersebut merupakan frekuensi jala-jala listrik. Berdasarkan teori, pada saat frekuensi *input* sama dengan frekuensi resonansinya diharapkan besar penguatan yang diberikan adalah yang paling minimum. Sedangkan berdasarkan hasil pengujian adalah sebagai berikut.

Berdasarkan pada Tabel 4.3, rangkaian *band stop filter* mampu meredam secara penuh pada frekuensi 50Hz. Penguatan yang terjadi pada frekuensi 50Hz adalah sebesar

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{0.38}{1.98} = 0.191$$



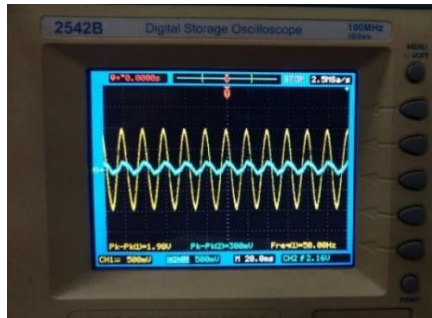
**Gambar 4.7** Grafik hasil pengujian rangkaian BSF

**Tabel 4.3** Pengujian rangkaian *Band Stop Filter* (BSF)

Frekuensi Input (Hz)	Vpp Input (V)	Vpp Output (V)
30	1.92	1.88
32	1.92	1.86
34	1.92	1.82
36	1.92	1.80
38	1.92	1.78
40	1.92	1.70
42	1.92	1.62
44	1.92	1.48
46	1.92	1.16
48	1.92	0.84
50	1.98	0.38
52	1.92	0.68
54	1.94	1.18
56	1.90	1.38
58	1.92	1.52
60	1.90	1.64
62	1.92	1.68
64	1.92	1.76
66	1.92	1.80
68	1.92	1.82
70	1.92	1.90

Dari pengujian terhadap rangkaian BSF diatas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- Frekuensi pada saat penguatan mendekati 0.707 adalah 44Hz.
- Peredaman maksimum terjadi pada frekuensi 50Hz dengan nilai penguatan sebesar 0.191 kali.



**Gambar 4.8** Pengujian BSF ketika diberikan sinyal sinus 50Hz

#### 4.1.5 Pengujian Rangkaian Penguat Tak Membalik

Pengujian penguat tak membalik dilakukan dengan memberikan sinyal sinusoidal yang dihasilkan dari *function generator*. Sinyal tersebut diatur agar memiliki amplitudo sebesar  $\pm 1V$  dengan frekuensi sebesar  $\pm 5Hz$ . *Output* sinyal dari *function generator* dihubungkan ke *input* positif dari penguat OP07 sedangkan *output* negatif *function generator* dan *input* negatif OP07 dihubungkan ke *ground*.

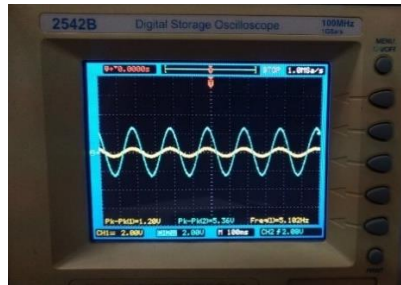
Pengukuran dilakukan menggunakan osiloskop dimana *channel 1* dihubungkan ke *input* dari penguat OP07 dan *channel 2* dihubungkan ke *output* OP07. Berikut adalah hasil penguatan yang didapatkan dari pengamatan pada osiloskop:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{5.36}{1.20} = 4.46$$

Sedangkan besar penguatan yang diharapkan dari perancangan rangkaian penguat tak membalik adalah sebesar

$$A_v = \frac{R_f}{R_1} = \frac{51k\Omega}{10k\Omega} = 5.1$$

Dari pengujian terhadap rangkaian BSF diatas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa rangkaian penguat pada saat pengujian hanya dapat menghasilkan *gain* sebesar 4.46 kali. Hal ini wajar terjadi karena adanya toleransi pada komponen yang digunakan, dimana nilai komponen pada saat perancangan merupakan pembulatan dari nilai komponen yang digunakan pada rangkaian.



**Gambar 4.9** Pengujian rangkaian penguat tak membalik

#### 4.1.6 Pengujian Rangkaian Penjumlah (Adder)

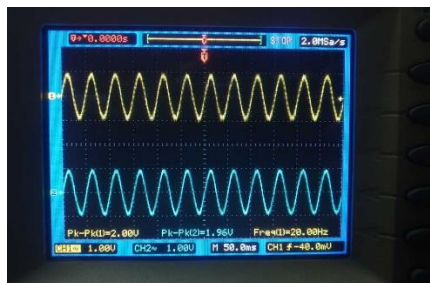
Pada pengujian rangkaian penjumlah (*adder*) dilakukan dengan memberikan *input* berupa sinyal dengan berbagai macam gelombang. Sinyal tersebut dihasilkan dari *function generator* dan diatur agar memiliki amplitudo sebesar  $\pm 2V$  dengan frekuensi  $\pm 20Hz$ . Tegangan *offset* diatur dengan resistor variabel *multiturn*.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan osiloskop dimana *channel 1* dihubungkan ke *input* dari rangkaian penjumlah dan *channel 2* dihubungkan ke *output* dari rangkaian. Berikut ada hasil dari pengujian rangkaian penjumlah:

$$V_{pp} \text{ input} = 2V$$

$$V_{pp} \text{ output} = 1.96V$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1.96}{2} = 0.98$$



**Gambar 4 10** Pengujian rangkaian penjumlah (*adder*)

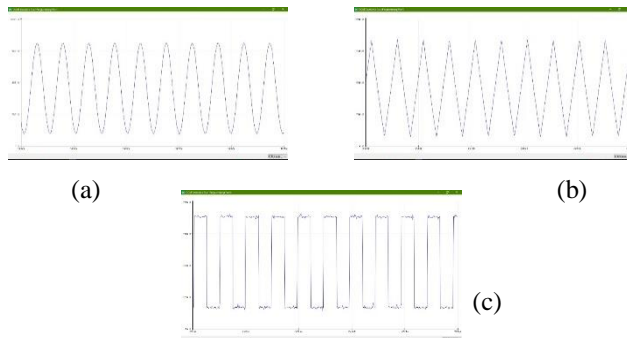
## 4.2 Pengujian Sistem Perangkat Lunak (*Software*)

Setelah pengujian terhadap perangkat keras (*hardware*) pada elektrokardiograf selesai, tahap berikutnya adalah pengujian terhadap sistem perangkat lunak (*software*) yang telah dirancang. Pengujian perangkat lunak dilakukan untuk mengetahui kehandalan maupun kekurangan dari sistem, sehingga diharapkan pengguna dapat meminimalisir terjadinya kesalahan yang berlebih. Pengujian perangkat lunak ini diawali dengan pengujian terhadap komponen analog to digital converter, kemudian pengujian transmisi data, dan dilanjutkan dengan pengujian monitoring sinyal melalui *website*.

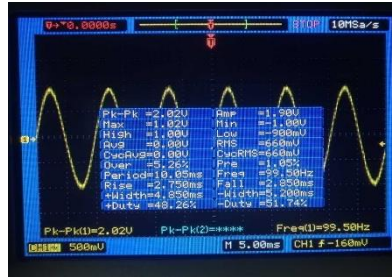
### 4.2.1 Pengujian *Analog to Digital Converter* (ADC)

Pengujian *analog to digital converter* ini bertujuan untuk memastikan apakah sinyal analog dapat terbaca dan terkonversi dengan sempurna. Pengujian dilakukan dengan memberikan sinyal analog yang dihasilkan dari *function generator*. Sebelumnya tegangan *offset* pada *function generator* diatur positif dengan tujuan sinyal yang dihasilkan dapat dibaca dengan sempurna. Sinyal analog kemudian dibaca dan dikonversi oleh komponen *analog to digital converter* yang berada di mikrokontroler Arduino Due setiap 1ms.

Pada pengujian digunakan *function generator* untuk menghasilkan sinyal sinusoidal, gigi gergaji (*sawtooth*) dan sinyal kotak. Kemudian sinyal tersebut dikonversi oleh komponen ADC Arduino Due dan hasil konversi dapat dilihat pada serial *plotter* yang terdapat pada perangkat lunak Arduino IDE.



**Gambar 4.11** Hasil konversi sinyal sinus (a), *sawtooth* (b), dan kotak(c)



**Gambar 4.12** Sinyal sinus pada osiloskop

Dari pengujian diatas dapat diketahui bahwa komponen *analog to digital converter* pada mikrokontroler dapat mengirimkan sinyal (sinus, gigi gergaji, dan kotak) tanpa mengubah bentuk dari sinyal tersebut.

Kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui apakah tegangan yang telah dikonversi oleh *analog to digital converter* sesuai dengan tegangan yang dikirimkan oleh *function generator*. Untuk pengujian data hasil konversi, data tersebut dikirimkan ke komputer dengan menggunakan komunikasi serial. Data dikirim menggunakan kabel USB dengan *baudrate* 9600.

Apabila melihat Gambar 4.12 dapat dilihat beberapa data berikut:

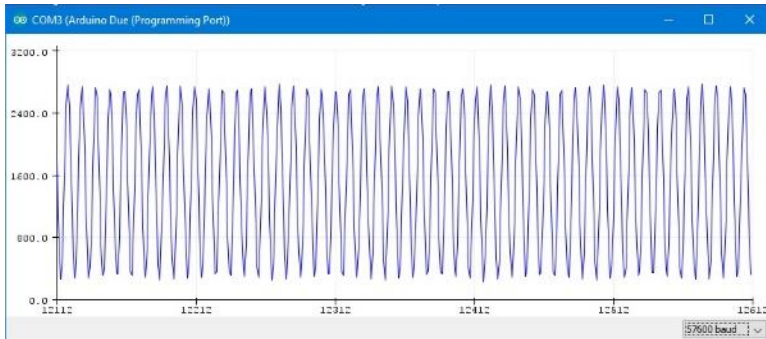
$$V_{max} = 1.02V$$

$$V_{min} = -1.00V$$

$$V_{pp} = V_{max} - V_{min} = 1.02V - (-1.00V) = 2.02V$$

$$frekuensi = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \text{ div} \times 5 \text{ ms}} = 100Hz$$

Sinyal sinus tersebut kemudian dimasukkan ke komponen *analog to digital converter* pada Arduino Due. Hasil dari proses *sampling* pada *analog to digital converter* dikirimkan melalui komunikasi serial ke komputer. Di komputer data sinyal tersebut dapat dilihat dalam bentuk grafik pada serial *plotter* di Arduino IDE dan dapat dilihat dalam bentuk angka pada serial monitor.



**Gambar 4.13** Sinyal sinus hasil konversi ADC

Berdasarkan pengamatan pada serial plotter dan serial monitor di Arduino IDE, didapatkan beberapa data sebagai berikut:

$$V_{max} = 2813$$

$$V_{min} = 274$$

$$V_{pp} = V_{max} - V_{min} = 2813 - 274 = 2539$$

$$V_{center} = \frac{V_{max} + V_{min}}{2} = \frac{2813 + 274}{2} = 1543.5$$

Karena ADC yang digunakan untuk proses konversi memiliki resolusi 12bit dengan tegangan maksimum 3.3V, maka apabila dilakukan perubahan menjadi nilai tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{pp} = 2539 \times \frac{3.3}{2^{12}} = 2046mV$$

$$V_{center} = 1543.5 \times \frac{3.3}{2^{12}} = 1244mV$$

$$Error V_{pp} = \frac{2020 - 2046}{2020} \times 100\% = 1.29\%$$

Sedangkan untuk frekuensinya adalah sebagai berikut:

$$frekuensi = \frac{1}{10 \times \frac{1}{f_s}} = \frac{1}{10 \times 1ms} = 100Hz$$

$$Error\ frekuensi = \frac{100 - 100}{100} \times 100\% = 0\%$$

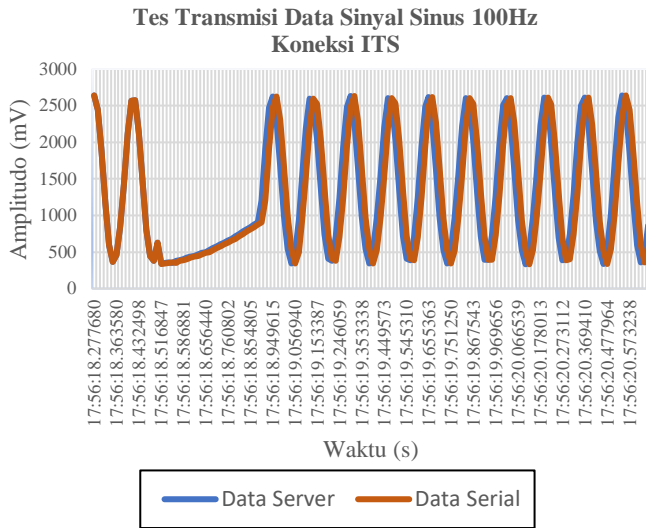
#### 4.2.2 Pengujian Transmisi Data

Pengujian transmisi data dilakukan dengan membandingkan data yang diterima secara serial pada Raspberry Pi dengan data yang dikirimkan ke *database* melalui jaringan internet. Data yang diujikan berupa pengiriman sinyal sinus yang dihasilkan oleh *function generator* dan pengiriman sinyal EKG lead 1. Pengiriman data sinyal dilakukan dengan menggunakan koneksi internet yang berbeda, satu menggunakan koneksi yang berasal dari *provider* Telkomsel (*tether smartphone*) dan satu lagi menggunakan koneksi yang disediakan oleh ITS (*tether laptop*). Setelah 20 detik pengambilan data, *script* pemrograman untuk membaca data serial pada Raspberry Pi dihentikan. Kemudian kumpulan data tersebut dibandingkan sebanyak 1000 data untuk sinyal sinus dengan frekuensi 100Hz dan 1000 data untuk sinyal EKG lead 1. Perbandingan kecepatan dari kedua jenis koneksi dapat dilihat pada Gambar 4.14. untuk membandingkan kedua koneksi memakai layanan yang disediakan oleh speedtest.net dengan tujuan server PT. Telekomunikasi Indonesia Surabaya.

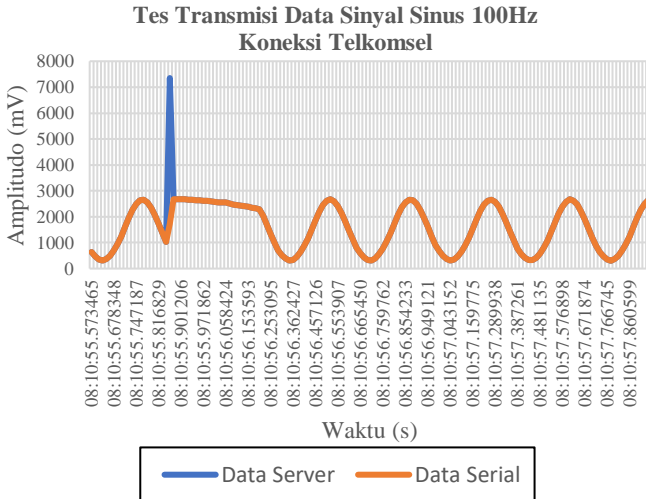


**Gambar 4.14** Perbandingan kualitas koneksi jaringan ITS (kiri) dan jaringan Telkomsel (kanan)



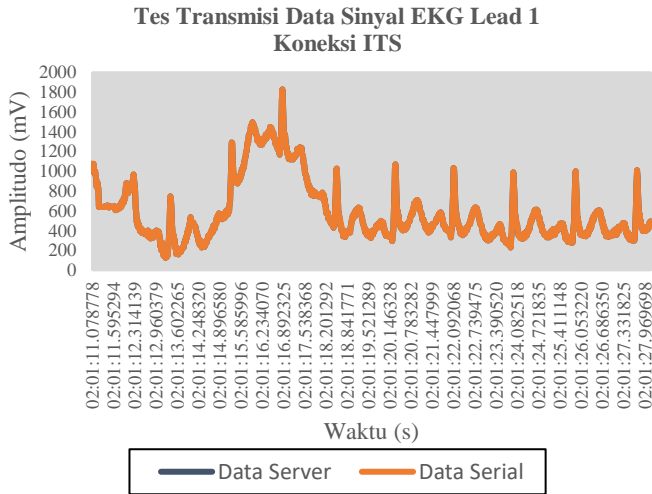


(a)

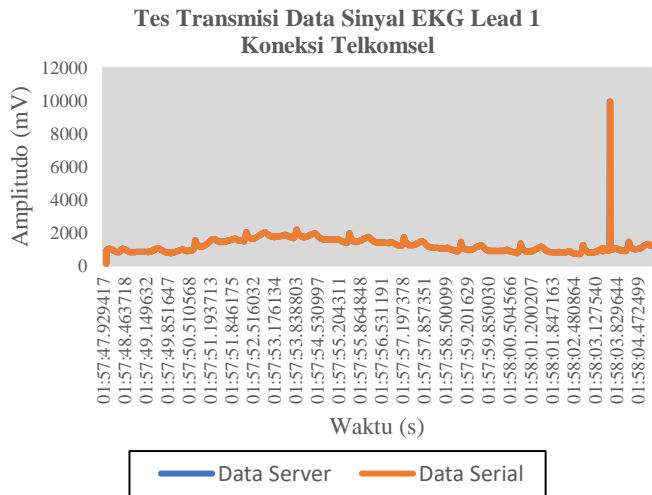


(b)

**Gambar 4.15** Perbandingan transmisi data sinyal sinus 100Hz (a) koneksi jaringan ITS, dan (b) koneksi jaringan Telkomsel



(a)



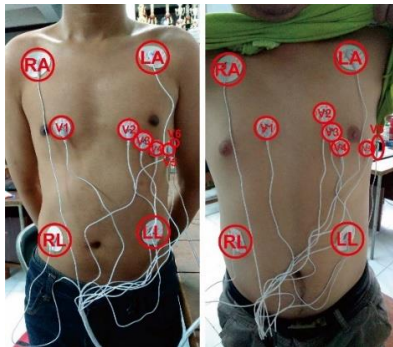
(b)

**Gambar 4.16** Perbandingan transmisi data sinyal EKG Lead 1 (a) koneksi jaringan ITS, dan (b) koneksi jaringan Telkomsel

Apabila kita melihat dan kemudian membandingkan Gambar 4.15 dengan Gambar 4.16, maka dapat dikatakan data yang dikirimkan ke *server* atau internet sesuai dengan data yang diterima oleh komunikasi serial. Namun ketika koneksi menggunakan jaringan yang disediakan oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember, maka data *losses* lebih sedikit terjadi apabila dibandingkan dengan menggunakan jaringan Telkomsel. Pada koneksi yang menggunakan Telkomsel apabila dilihat pada Gambar 4.15 dan 4.16 menghasilkan *spike* atau loncatan data. Hal ini dikarenakan terjadinya penumpukan data pada *byte* data yang dikirimkan. Sebagai contoh, ketika dua *byte* data yang bernilai 1087 dan 989 dan terjadi penumpukan data maka yang diterima oleh *server* adalah *byte* dengan nilai 1087989. Kedua koneksi menghasilkan *spike* atau loncatan data namun ketika menggunakan jaringan Telkomsel, *spike* lebih sering terjadi.

#### 4.2.3 Pengujian Monitoring Sinyal

Sebelum melakukan pengujian untuk memonitoring sinyal jantung, pasien (objek penelitian) harus dipersiapkan terlebih dahulu.



**Gambar 4.17** Lokasi penempatan elektroda pada pasien (letak elektroda dapat dilihat pada Bab 2)

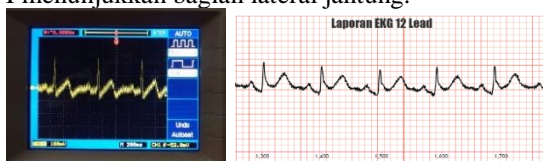
Pertama, pastikan tidak ada benda yang menghalangi atau menutupi dada pasien. Hal ini ditujukan untuk mempermudah operator dalam memasang elektroda pada tempatnya. Kedua, penempatan elektroda pada masing-masing titik penyadapan. Penempatan elektroda dapat dilihat pada Gambar 4.17. Ketiga, pastikan pasien dalam kondisi rileks (tidak tegang) dan tidak ada bagian tubuhnya yang secara langsung

menyentuh tanah atau terpegang oleh orang lain. Apabila pasien dalam kondisi tegang, sinyal jantung (EKG) akan terganggu dengan hadirnya sinyal otot (EMG). Dan apabila ada anggota tubuh pasien yang menyentuh tanah atau lantai dapat mengubah keadaan *ground* pada tubuh pasien. Kelima, nyalakan perangkat dan mulai pemilihan *lead* dengan menekan tombol pada *remote*. Lihat dan pantau hasil monitoring sinyal EKG pada halaman *website* [www.monitoring-ekg.site](http://www.monitoring-ekg.site) dengan menggunakan *browser* yang mendukung *javascript*.

Pengujian monitoring sinyal ditujukan untuk mengetahui kondisi dan bentuk dari sinyal jantung yang diambil dari masing-masing *lead*. Setelah sinyal jantung diambil oleh komponen elektrokardiograf yang terdapat pada perangkat, sinyal tersebut kemudian dibaca oleh osiloskop. Sinyal yang terbaca oleh osiloskop selanjutnya dibandingkan dengan sinyal yang dikonversi oleh komponen ADC pada Arduino Due dan juga dengan yang ditampilkan pada *website* sistem monitoring EKG.

Dari hasil perbandingan yang dilihat baik melalui osiloskop maupun pada halaman *website* terlihat sama. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pengiriman data berupa sinyal EKG menggunakan koneksi jaringan internet dapat dilakukan, dimana sinyal EKG yang terlihat secara analog dan yang terlihat pada halaman internet Gambar 4.18 sampai Gambar 4.29 tidak mengalami perubahan bentuk sinyal.

- Lead I bernilai positif, karena arah arus jantung menuju ke arah lead. Lead I menunjukkan bagian lateral jantung.



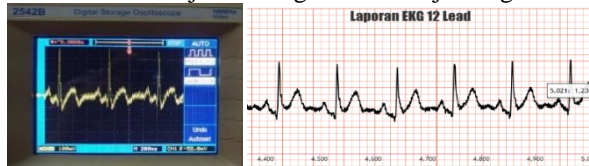
**Gambar 4.18** Perbandingan Lead I

- Lead II bernilai positif, karena arah arus jantung menuju ke arah lead. Lead II menunjukkan bagian inferior jantung



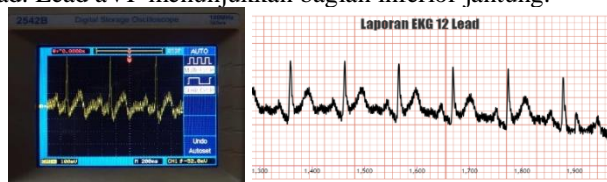
**Gambar 4.19** Perbandingan Lead II

- Lead III bernilai positif, karena arah arus jantung menuju ke arah lead. Lead III menunjukkan bagian inferior jantung.



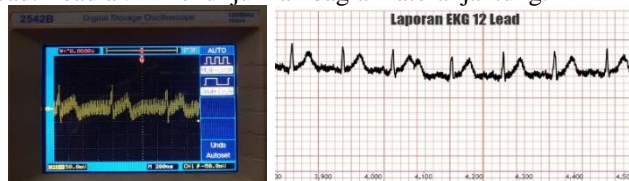
**Gambar 4.20** Perbandingan Lead III

- Lead aVF bernilai positif, karena arah arus jantung menuju ke arah lead. Lead aVF menunjukkan bagian inferior jantung.



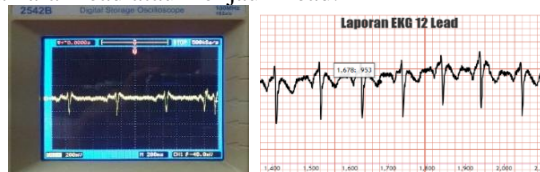
**Gambar 4.21** Perbandingan Lead aVF

- Lead aVL bernilai positif, karena arah arus jantung menuju ke arah lead. Lead aVL menunjukkan bagian lateral jantung.



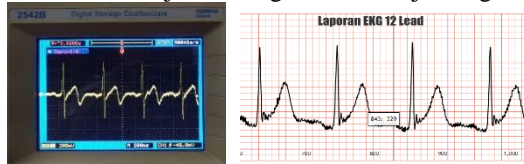
**Gambar 4.22** Perbandingan Lead aVL

- Lead aVR bernilai negatif, karena arah arus jantung berlawanan dengan arah lead atau menjauhi lead.



**Gambar 4.23** Perbandingan Lead aVR

- Lead V1 bernilai positif, karena arah arus jantung menuju ke arah lead. Lead V1 menunjukkan bagian anterior jantung.



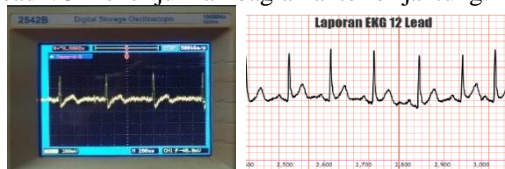
**Gambar 4.24** Perbandingan Lead V1

- Lead V2 bernilai positif, karena arah arus jantung menuju ke arah lead. Lead V2 menunjukkan bagian anterior jantung.



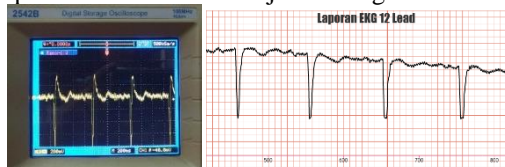
**Gambar 4.25** Perbandingan Lead V2

- Lead V3 bernilai positif, karena arah arus jantung menuju ke arah lead. Lead V3 menunjukkan bagian anterior jantung.



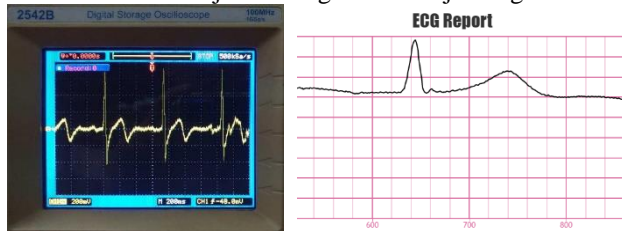
**Gambar 4.26** Perbandingan Lead V3

- Lead V4 bernilai negatif, karena arah arus jantung berlawanan dengan arah lead atau menjauhi lead. Hal ini kurang sesuai, dimana apabila melihat pada referensi (Gambar 2.8) seharusnya lead V4 bernilai positif. Lead V4 menunjukkan bagian anterior jantung.



**Gambar 4.27** Perbandingan Lead V4

- Lead V5 bernilai positif, karena arah arus jantung menuju ke arah lead. Lead V5 menunjukkan bagian lateral jantung.



**Gambar 4.28** Perbandingan Lead V5

- Lead V6 bernilai positif, karena arah arus jantung menuju ke arah lead. Lead V6 menunjukkan bagian lateral jantung.



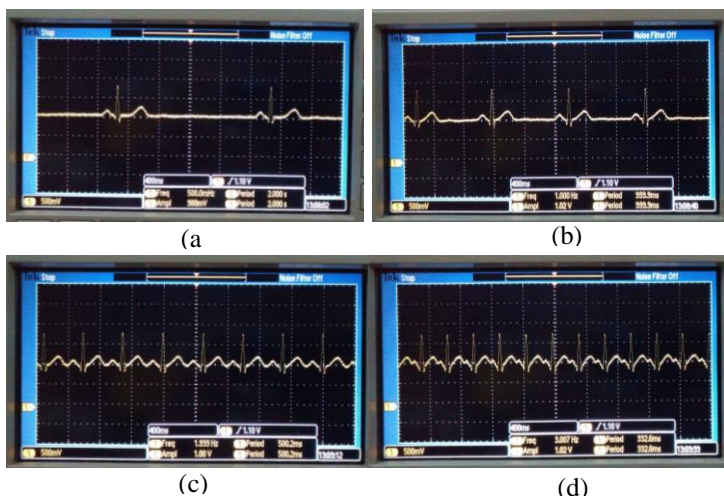
**Gambar 4.29** Perbandingan Lead V6

#### 4.2.4 Pengujian Perangkat EKG dengan ECG Simulator

Pengujian perangkat EKG 12 lead dengan menggunakan ECG simulator ditujukan untuk mengetahui apakah sistem analog pada perangkat EKG menghasilkan sinyal yang sama dengan *output* dari ECG simulator tersebut. Pengujian dilakukan pada *output* lead I ECG simulator dengan *heart rate* (bpm) di 30bpm, 60bpm, 120bpm, dan 180bpm. Kemudian *output* dari instrumentasi analog dihubungkan dengan osiloskop.

Hasil pengujian dalam bentuk grafik pada osiloskop. Kemudian, dengan melihat hasil pengujian pada osiloskop dilakukan perhitungan matematis untuk mendapatkan nilai *heart rate*. Untuk menghitung *heart rate* yang telah diakuisisi oleh perangkat instrumentasi analog digunakan persamaan berikut:

$$HR = \frac{60}{\text{interval } R - R}$$



**Gambar 4.30** Hasil akuisisi Lead 1 untuk 30bpm(a), 60bpm(b), 120bpm(c), dan 180bpm(d)

**Tabel 4. 4** Tabel pengujian Lead 1 dengan osiloskop

Besaran	Lead 1 (30bpm)	Lead 1 (60bpm)	Lead 1 (120bpm)	Lead 1 (180bpm)
Frekuensi	0.5 Hz	1Hz	1.99Hz	3.007Hz
Amplitudo	980mV	1.02V	1V	1.02V
Periode	2 s	999,9 ms	500.2 ms	332.6ms

Untuk lead 1 dengan *output heart rate* pada ECG simulator sebesar 30bpm, didapat

$$HR = \frac{60}{\text{interval } R - R} = \frac{60}{2} = 30bpm$$

Untuk lead 1 dengan *output heart rate* pada ECG simulator sebesar 60bpm, didapat

$$HR = \frac{60}{\text{interval } R - R} = \frac{60}{0.999} = 60.060bpm$$



Untuk lead 1 dengan *output heart rate* pada ECG simulator sebesar 120bpm, didapat

$$HR = \frac{60}{\text{interval } R - R} = \frac{60}{0.5002} = 119.952bpm$$

Untuk lead 1 dengan *output heart rate* pada ECG simulator sebesar 180bpm, didapat

$$HR = \frac{60}{\text{interval } R - R} = \frac{60}{0.3326} = 180.397bpm$$

Dengan melihat hasil perhitungan *heart rate* yang didapat dari hasil pengujian dan *output* dari ECG simulator dapat digunakan untuk menghitung *error* yang terjadi, dimana:

- Untuk lead 1 dengan *heart rate* **30bpm**

$$Error = \frac{30 - 30}{30} \times 100\% = \frac{0}{30} \times 100\% = 0\%$$

- Untuk lead 1 dengan *heart rate* **60bpm**

$$Error = \frac{60.060 - 60}{60} \times 100\% = \frac{0.06}{60} \times 100\% = 0.1\%$$

- Untuk lead 1 dengan *heart rate* **120bpm**

$$Error = \frac{120 - 119.952}{120} \times 100\% = \frac{0.048}{120} \times 100\% = 0.04\%$$

- Untuk lead 1 dengan *heart rate* **180bpm**

$$Error = \frac{180.397 - 180}{180} \times 100\% = \frac{0.397}{180} \times 100\% = 0.22\%$$

Kesalahan (*error*) yang dihasilkan dari akuisisi perangkat instrumentasi analog sangat kecil, dimana hal ini terjadi karena toleransi pada pembacaan di osiloskop. *Error* yang kecil ini dapat diabaikan dan sinyal EKG yang dihasilkan oleh perangkat instrumentasi analog sudah sesuai dengan apa yang diharapkan.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari bagian perancangan, pengujian, serta analisa sistem, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dari pengerjaan tugas akhir ini, yaitu:

1. Perangkat elektrokardiograf 12 lead dapat dirancang dengan menggunakan metode multipleksing dimana hanya membutuhkan satu rangkaian instrumentasi saja.
2. Sinyal elektrokardiogram (EKG) sebanyak 12 lead tidak dapat ditampilkan secara bersamaan namun dapat ditampilkan secara berurutan.
3. Rangkaian filter yang dirancang menggunakan topologi *Sallen-key* dalam orde 2, mampu meredam *noise* dengan baik dimana kesalahan (*error*) yang terjadi  $\pm 1\text{Hz}$ .
4. *Analog to digital converter* yang dirancang dengan frekuensi *sampling* 1KHz dapat mengkonversi sinyal jantung dengan baik dengan kesalahan (*error*)  $V_{pp}$  yang terjadi 1.29%.
5. Transmisi data dari Raspberry Pi 3 menuju *server* dengan koneksi jaringan internet yang cepat dan stabil dapat mengurangi hilangnya data (*data losses*) dan *delay*.
6. Sinyal elektrokardiogram (EKG) 12 lead yang terlihat pada osiloskop dan sistem monitoring pada *website* apabila dibandingkan terlihat serupa.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan dari pengamatan dan pengujian keseluruhan sistem dapat diambil beberapa saran untuk pengembangan perangkat elektrokardiograf 12 lead ini. Kedepannya diharapkan elektrokardiograf dapat disempurnakan dengan menampilkan keseluruhan sinyal jantung dari ke-12 lead secara simultan dan dapat dilihat melalui jaringan internet. Kemudian dapat juga ditambahkan algoritma khusus untuk mendeteksi kelainan jantung secara otomatis dari data yang didapatkan dari ke-12 lead, sehingga pasien dapat ditangani secara cepat dan tepat. Dari segi perangkat, dimensi alat diharapkan dapat diperkecil dengan menggunakan rangkaian SMD. Setelah itu, mikrokontroler yang digunakan mungkin dapat diganti dengan mikrokontroler yang lebih kecil namun tetap *powerfull* sehingga dapat mengefisiensi tempat dan daya

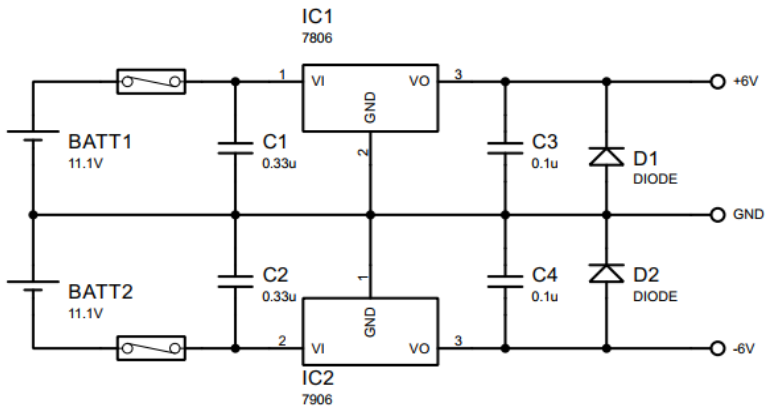
yang dibutuhkan berkurang. Perangkat elektrokardiograf 12 lead ini dapat ditambahkan sistem kalibrasi dengan tujuan sinyal yang dihasilkan oleh perangkat sesuai dengan standar medis yang ada, sehingga perangkat dapat digunakan lebih lanjut dalam dunia kedokteran.

## DAFTAR PUSTAKA

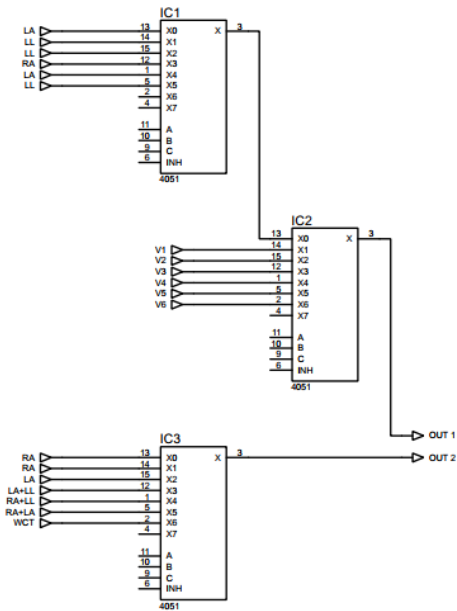
- [1] “Situasi Kesehatan Jantung.” Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI, 2014.
- [2] Thomson Gale (Firm), *Gale encyclopedia of medicine*. Detroit: Thomson Gale, 2006.
- [3] F. Martini, *Fundamentals of anatomy & physiology*. 2015.
- [4] A. C. Guyton, *Textbook of medical physiology*, 4. ed. Philadelphia: Saunders, 1971.
- [5] B. Surawicz, T. K. Knilans, T.-C. Chou, dan Surawicz-Knilans, Ed., *Chou's electrocardiography in clinical practice: adult and pediatric*, 6. ed. Philadelphia, Pa: Elsevier, Saunders, 2008.
- [6] J. R. Hampton dan J. R. Hampton, *The ECG made easy*. Edinburgh; New York: Churchill Livingstone, 1986.
- [7] Saryono dan I. Purnawan, *Cara Praktis Baca Elektrokardiografi*. Nuha Medika, 2014.
- [8] S. Hadiyoso, M. Julian, A. Rizal, dan S. Aulia, “Pengembangan Perangkat EKG 12 Lead dan Aplikasi Client-Server untuk Distribusi Data,” vol. 3, hlm. 91–105, 2015.
- [9] “The ECG leads: electrodes, limb leads, chest (precordial) leads, 12-Lead ECG (EKG),” *ECG learning*, 30-Mei-2017. .
- [10] A. Bayés de Luna, *Basic electrocardiography: normal and abnormal ECG patterns*. Malden, MA: Blackwell Futura, 2007.
- [11] D. D. Penney, “Electrocardiography.” [Daring]. Tersedia pada: <http://www.coheadquarters.com/PennLibr/MyPhysiology/lect0/figecg13.htm>. [Diakses: 06-Des-2018].
- [12] “ECG Lead Placement - 12 Lead Placement,” *Ausmed*, 14-Mar-2018. .
- [13] “Datasheet AD620.” Analog Devices.
- [14] “Datasheet 74HC4051; 74HCT4051.” Philips.
- [15] “Arduino Due.” [Daring]. Tersedia pada: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-due>. [Diakses: 06-Des-2018].
- [16] “Datasheet SAM3X/SAM3A Series.” Atmel.
- [17] O. Krianto dan A. Widarma, “Sistem Internet of Things (IOT) Berbasis Cloud Computing dalam Campus Area Network.”
- [18] K. Khallis, “Perancangan Website E-commerce Penjualan Sepatu Online,” Mar 2015.

- [19] “PHP: What is PHP? - Manual.” [Daring]. Tersedia pada: <http://id1.php.net/manual/en/intro-what-is.php>. [Diakses: 06-Des-2018].
- [20] “Firebase Realtime Database,” *Firebase*. [Daring]. Tersedia pada: <https://firebase.google.com/docs/database/?hl=id>. [Diakses: 06-Des-2018].
- [21] A. Rizal dan Jondri, “Wireless LAN Electrocardiograph (ECG),” *Konferensi Nasional Sistem dan Informatika 2010*, 2010.
- [22] N. Aritama, “Perancangan Sistem Pengawasan Kondisi Jantung Jarak Jauh dengan Menggunakan Elektrokardiograf dan Phonocardiograph,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [23] T. Wiranadi, “Sistem Pengawasan Irama Jantung dan Indikasi Serangan Jantung dengan Elektrokardiografi Portabel yang Terintegrasi Android,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [24] D. Evans, “The Internet of Things, How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything.” Cisco, 2011.
- [25] A. Widodo, “Sistem Akuisisi ECG Menggunakan USB untuk Deteksi Aritmia,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2010.

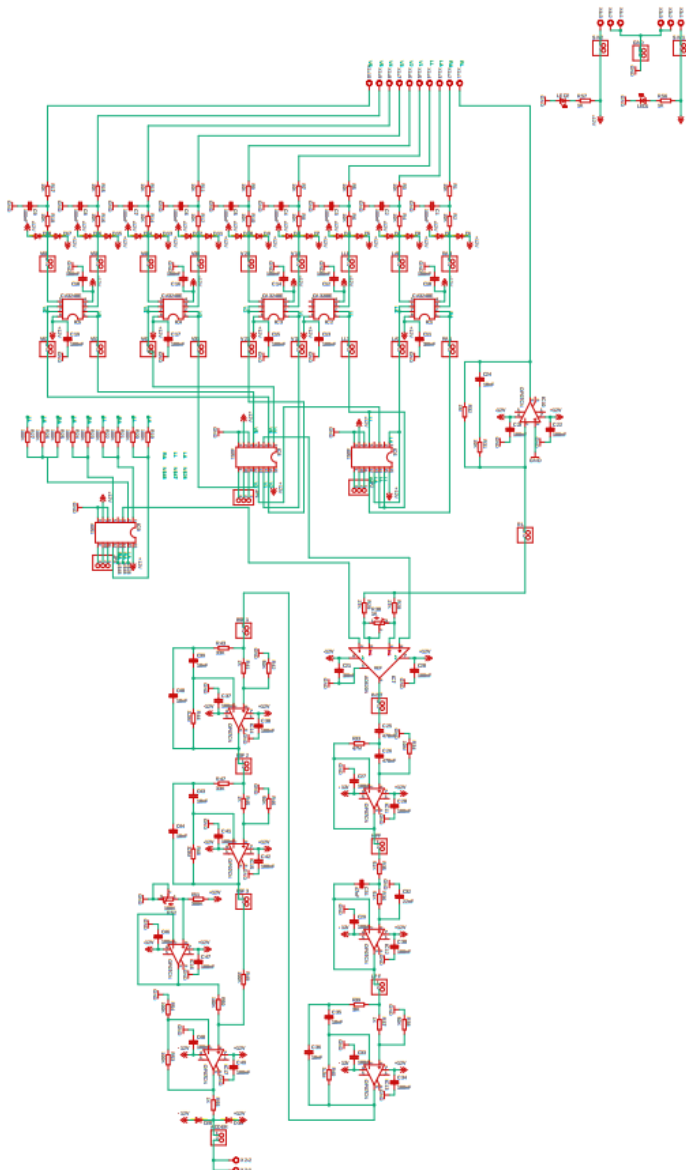
## LAMPIRAN A



**Gambar A.1** Rangkaian sumber tegangan 6V



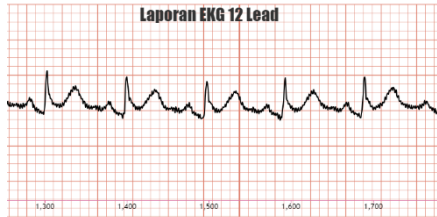
**Gambar A.2** Rangkaian pemilih (*selector*)



**Gambar A.3** Rangkaian elektrokardiogram



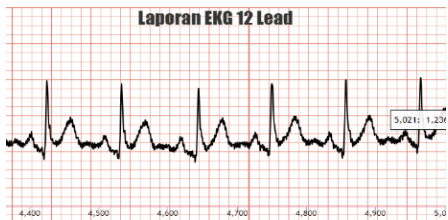
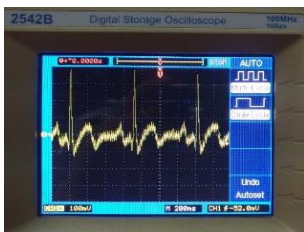
## LAMPIRAN B



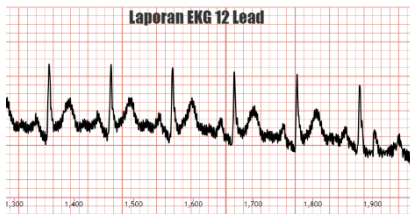
**Gambar B.1** Hasil elektroda Lead 1



**Gambar B.2** Hasil elektroda Lead 2



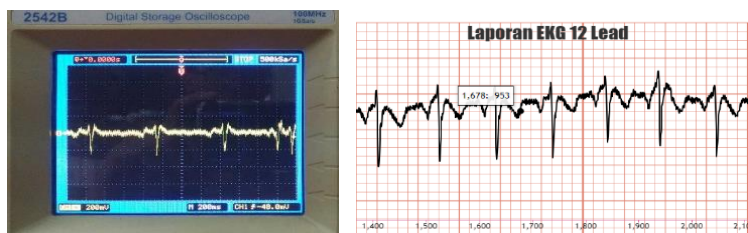
**Gambar B.3** Hasil elektroda Lead 3



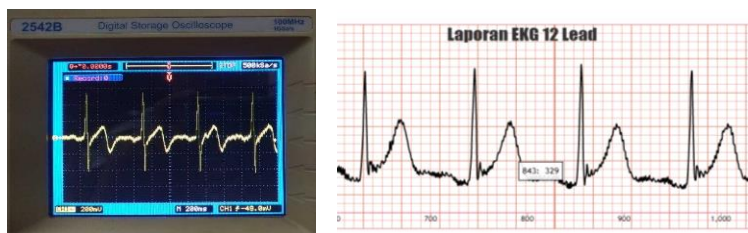
**Gambar B.4** Hasil elektroda Lead aVF



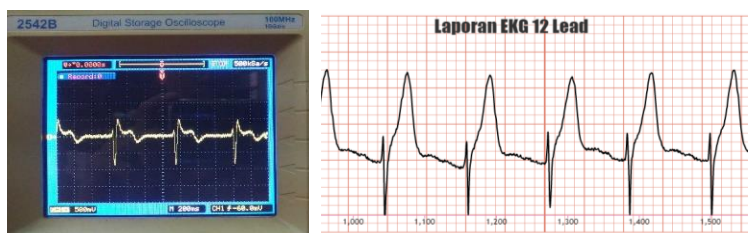
**Gambar B.5** Hasil elektroda Lead aVL



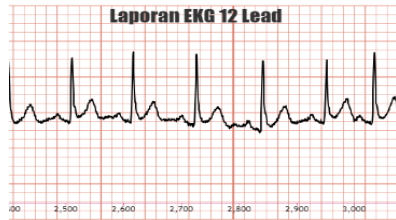
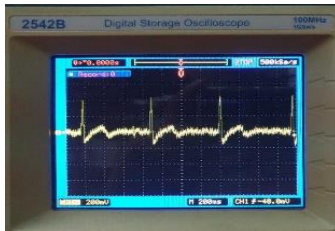
**Gambar B.6** Hasil elektroda Lead aVR



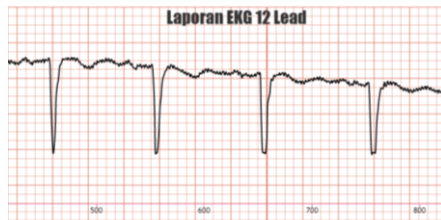
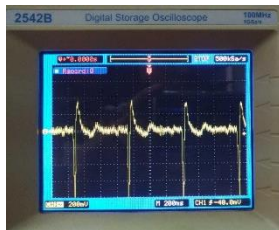
**Gambar B.7** Hasil elektroda Lead V1



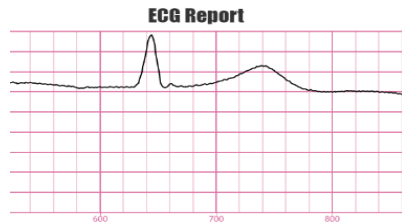
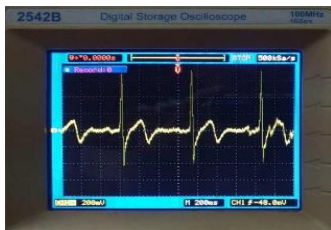
**Gambar B.8** Hasil elektroda Lead V2



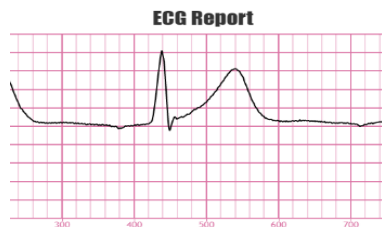
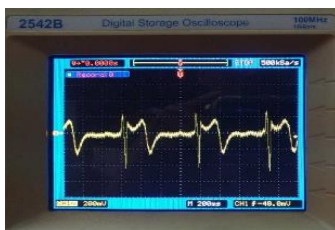
**Gambar B.9** Hasil elektroda Lead V3



**Gambar B.10** Hasil elektroda Lead V4



**Gambar B.11** Hasil elektroda Lead V5



**Gambar B.12** Hasil elektroda Lead V6

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

## LAMPIRAN C

**Tabel C.1** Tabel data EKG Lead 1 koneksi Telkomsel (1000 data)

No. Data	Waktu (s)	Data ADC (mV)	Data Server (mV)
1	01:57:47.929417	797	797
2	01:57:47.947828	810	810
3	01:57:47.969050	830	830
4	01:57:47.987679	812	812
5	01:57:48.005416	792	792
6	01:57:48.021468	89	89
7	01:57:48.033177	975	975
8	01:57:48.044752	945	945
9	01:57:48.056454	998	998
10	01:57:48.068226	959	959
11	01:57:48.079629	1021	1021
12	01:57:48.091059	991	991
13	01:57:48.102373	1034	1034
14	01:57:48.113730	1003	1003
15	01:57:48.125323	975	975
16	01:57:48.136707	1005	1005
17	01:57:48.148037	922	922
18	01:57:48.159652	955	955
19	01:57:48.171381	903	903
20	01:57:48.183300	915	915
21	01:57:48.194792	854	854
22	01:57:48.212296	865	865
23	01:57:48.232510	834	834
24	01:57:48.243816	844	844
25	01:57:48.255493	807	807
26	01:57:48.267491	797	797
27	01:57:48.279017	810	810
28	01:57:48.290576	830	830
29	01:57:48.302018	812	812
30	01:57:48.313491	792	792
31	01:57:48.325351	803	803
32	01:57:48.336776	945	945
33	01:57:48.348177	998	998
34	01:57:48.364132	959	959
35	01:57:48.380219	1021	1021
36	01:57:48.398646	991	991
37	01:57:48.414317	1034	1034
38	01:57:48.430465	1003	1003
39	01:57:48.446819	975	975
40	01:57:48.463718	1005	1005
41	01:57:48.480016	922	922
42	01:57:48.496195	955	955
43	01:57:48.511923	903	903
44	01:57:48.531507	915	915
45	01:57:48.561050	854	854
46	01:57:48.577204	865	865
47	01:57:48.593139	834	834
48	01:57:48.608675	844	844
49	01:57:48.624339	807	807
50	01:57:48.641294	797	797
51	01:57:48.657023	810	810
52	01:57:48.673071	830	830
53	01:57:48.688410	812	812
54	01:57:48.703647	792	792
55	01:57:48.719021	803	803
56	01:57:48.739842	812	812
57	01:57:48.761999	810	810
58	01:57:48.785029	815	815
59	01:57:48.807201	817	817
60	01:57:48.828478	815	815
61	01:57:48.843589	819	819
62	01:57:48.858811	822	822
63	01:57:48.874070	822	822
64	01:57:48.889891	820	820
65	01:57:48.905031	823	823
66	01:57:48.928919	823	823
67	01:57:48.957395	826	826
68	01:57:48.973317	838	838

69	01:57:48.989934	830	830
70	01:57:49.006256	828	828
71	01:57:49.022159	829	829
72	01:57:49.038091	831	831
73	01:57:49.054497	838	838
74	01:57:49.070290	834	834
75	01:57:49.086864	833	833
76	01:57:49.102505	835	835
77	01:57:49.118198	834	834
78	01:57:49.133932	838	838
79	01:57:49.149632	836	836
80	01:57:49.166152	838	838
81	01:57:49.182727	839	839
82	01:57:49.198699	805	805
83	01:57:49.214499	839	839
84	01:57:49.230556	837	837
85	01:57:49.246311	851	851
86	01:57:49.268356	822	822
87	01:57:49.297478	865	865
88	01:57:49.313266	849	849
89	01:57:49.329441	905	905
90	01:57:49.345446	876	876
91	01:57:49.361447	930	930
92	01:57:49.377823	904	904
93	01:57:49.394596	957	957
94	01:57:49.410681	935	935
95	01:57:49.426721	991	991
96	01:57:49.442666	958	958
97	01:57:49.458694	1006	1006
98	01:57:49.475205	1017	1017
99	01:57:49.491682	1019	1019
100	01:57:49.507709	1059	1059
101	01:57:49.523797	1030	1030
102	01:57:49.545521	1051	1051
103	01:57:49.569968	1039	1039
104	01:57:49.595148	980	980
105	01:57:49.619423	1004	1004
106	01:57:49.639248	938	938

107	01:57:49.655391	946	946
108	01:57:49.671374	903	903
109	01:57:49.687596	906	906
110	01:57:49.709108	858	858
111	01:57:49.738364	840	840
112	01:57:49.754526	832	832
113	01:57:49.770708	833	833
114	01:57:49.786844	807	807
115	01:57:49.803379	777	777
116	01:57:49.819797	789	789
117	01:57:49.835690	777	777
118	01:57:49.851647	792	792
119	01:57:49.867653	754	754
120	01:57:49.883680	787	787
121	01:57:49.900286	755	755
122	01:57:49.916262	790	790
123	01:57:49.932870	752	752
124	01:57:49.949364	791	791
125	01:57:49.965842	752	752
126	01:57:49.981945	812	812
127	01:57:49.998807	777	777
128	01:57:50.014720	837	837
129	01:57:50.030677	784	784
130	01:57:50.046568	804	804
131	01:57:50.062574	806	806
132	01:57:50.079157	841	841
133	01:57:50.108160	819	819
134	01:57:50.124315	838	838
135	01:57:50.141045	858	858
136	01:57:50.157057	882	882
137	01:57:50.173089	865	865
138	01:57:50.189168	871	871
139	01:57:50.205622	911	911
140	01:57:50.221944	927	927
141	01:57:50.237784	942	942
142	01:57:50.253699	932	932
143	01:57:50.269492	971	971
144	01:57:50.285613	948	948

145	01:57:50.301585	989	989
146	01:57:50.318166	943	943
147	01:57:50.334212	973	973
148	01:57:50.350134	919	919
149	01:57:50.366606	941	941
150	01:57:50.382662	889	889
151	01:57:50.399166	909	909
152	01:57:50.415539	872	872
153	01:57:50.432521	897	897
154	01:57:50.462231	876	876
155	01:57:50.478517	913	913
156	01:57:50.494526	871	871
157	01:57:50.510568	898	898
158	01:57:50.526585	888	888
159	01:57:50.542136	923	923
160	01:57:50.557910	895	895
161	01:57:50.573411	901	901
162	01:57:50.589814	908	908
163	01:57:50.605276	910	910
164	01:57:50.621465	921	921
165	01:57:50.637041	937	937
166	01:57:50.652824	1063	1063
167	01:57:50.668745	1223	1223
168	01:57:50.684632	1484	1484
169	01:57:50.700215	1543	1543
170	01:57:50.716452	1429	1429
171	01:57:50.732051	1297	1297
172	01:57:50.747452	1207	1207
173	01:57:50.763028	1245	1245
174	01:57:50.781439	1222	1222
175	01:57:50.807975	1158	1158
176	01:57:50.824138	1177	1177
177	01:57:50.839527	1154	1154
178	01:57:50.855043	1128	1128
179	01:57:50.871410	1167	1167
180	01:57:50.887136	1135	1135
181	01:57:50.902586	1159	1159
182	01:57:50.918851	1187	1187

183	01:57:50.934268	1165	1165
184	01:57:50.949671	1221	1221
185	01:57:50.965222	1216	1216
186	01:57:50.980649	1232	1232
187	01:57:50.996772	1262	1262
188	01:57:51.012837	1249	1249
189	01:57:51.029490	1313	1313
190	01:57:51.047231	1324	1324
191	01:57:51.071496	1326	1326
192	01:57:51.095844	1397	1397
193	01:57:51.121232	1385	1385
194	01:57:51.144749	1419	1419
195	01:57:51.164422	1477	1477
196	01:57:51.193713	1470	1470
197	01:57:51.209965	1529	1529
198	01:57:51.226726	1558	1558
199	01:57:51.243006	1547	1547
200	01:57:51.259339	1599	1599
201	01:57:51.275590	1586	1586
202	01:57:51.291636	1603	1603
203	01:57:51.307798	1626	1626
204	01:57:51.324582	1575	1575
205	01:57:51.340661	1597	1597
206	01:57:51.356833	1563	1563
207	01:57:51.372849	1514	1514
208	01:57:51.388922	1540	1540
209	01:57:51.405635	1472	1472
210	01:57:51.421616	1461	1461
211	01:57:51.438063	1469	1469
212	01:57:51.454028	1419	1419
213	01:57:51.470658	1425	1425
214	01:57:51.486696	1433	1433
215	01:57:51.509263	1408	1408
216	01:57:51.538950	1434	1434
217	01:57:51.555042	1414	1414
218	01:57:51.571290	1425	1425
219	01:57:51.587482	1440	1440
220	01:57:51.603375	1411	1411

221	01:57:51.619448	1459	1459
222	01:57:51.637156	1443	1443
223	01:57:51.653190	1423	1423
224	01:57:51.669162	1494	1494
225	01:57:51.685271	1463	1463
226	01:57:51.701286	1478	1478
227	01:57:51.717237	1509	1509
228	01:57:51.733150	1476	1476
229	01:57:51.749639	1509	1509
230	01:57:51.765680	1512	1512
231	01:57:51.781587	1506	1506
232	01:57:51.797718	1555	1555
233	01:57:51.813733	1537	1537
234	01:57:51.829735	1566	1566
235	01:57:51.846175	1574	1574
236	01:57:51.862378	1545	1545
237	01:57:51.884848	1593	1593
238	01:57:51.914132	1602	1602
239	01:57:51.930170	1604	1604
240	01:57:51.946735	1640	1640
241	01:57:51.962841	1607	1607
242	01:57:51.978797	1615	1615
243	01:57:51.995064	1633	1633
244	01:57:52.011001	1565	1565
245	01:57:52.027103	1546	1546
246	01:57:52.043632	1555	1555
247	01:57:52.059682	1524	1524
248	01:57:52.075564	1536	1536
249	01:57:52.091553	1498	1498
250	01:57:52.107555	1509	1509
251	01:57:52.123534	1520	1520
252	01:57:52.139443	1481	1481
253	01:57:52.156030	1511	1511
254	01:57:52.172033	1501	1501
255	01:57:52.188256	1470	1470
256	01:57:52.204192	1495	1495
257	01:57:52.220311	1465	1465
258	01:57:52.243835	1524	1524

259	01:57:52.273628	1651	1651
260	01:57:52.289822	1790	1790
261	01:57:52.305758	2023	2023
262	01:57:52.321808	2042	2042
263	01:57:52.338030	1911	1911
264	01:57:52.354766	1793	1793
265	01:57:52.370722	1720	1720
266	01:57:52.386954	1749	1749
267	01:57:52.403161	1724	1724
268	01:57:52.419255	1656	1656
269	01:57:52.435247	1680	1680
270	01:57:52.451927	1659	1659
271	01:57:52.468034	1623	1623
272	01:57:52.484401	1648	1648
273	01:57:52.500303	1618	1618
274	01:57:52.516032	1634	1634
275	01:57:52.531790	1659	1659
276	01:57:52.547513	1624	1624
277	01:57:52.563740	1668	1668
278	01:57:52.587781	1681	1681
279	01:57:52.616669	1683	1683
280	01:57:52.632621	1721	1721
281	01:57:52.648347	1704	1704
282	01:57:52.664701	1753	1753
283	01:57:52.680388	1772	1772
284	01:57:52.696267	1763	1763
285	01:57:52.712205	1826	1826
286	01:57:52.728149	1832	1832
287	01:57:52.743843	1836	1836
288	01:57:52.760199	1913	1913
289	01:57:52.776223	1892	1892
290	01:57:52.792086	1940	1940
291	01:57:52.807879	1977	1977
292	01:57:52.823808	1957	1957
293	01:57:52.839601	2011	2011
294	01:57:52.856632	2003	2003
295	01:57:52.872357	1995	1995
296	01:57:52.888304	2023	2023



297	01:57:52.904039	1970	1970
298	01:57:52.919822	1952	1952
299	01:57:52.935644	1946	1946
300	01:57:52.952109	1889	1889
301	01:57:52.981383	1915	1915
302	01:57:52.997673	1858	1858
303	01:57:53.013623	1820	1820
304	01:57:53.029749	1832	1832
305	01:57:53.045671	1777	1777
306	01:57:53.062424	1777	1777
307	01:57:53.078632	1789	1789
308	01:57:53.094823	1737	1737
309	01:57:53.110938	1763	1763
310	01:57:53.127263	1750	1750
311	01:57:53.143491	1741	1741
312	01:57:53.160205	1759	1759
313	01:57:53.176134	1724	1724
314	01:57:53.192256	1766	1766
315	01:57:53.208301	1763	1763
316	01:57:53.224368	1737	1737
317	01:57:53.240370	1782	1782
318	01:57:53.256486	1751	1751
319	01:57:53.273009	1748	1748
320	01:57:53.289213	1786	1786
321	01:57:53.305320	1748	1748
322	01:57:53.326750	1776	1776
323	01:57:53.356040	1790	1790
324	01:57:53.372633	1766	1766
325	01:57:53.388952	1800	1800
326	01:57:53.405218	1811	1811
327	01:57:53.421413	1814	1814
328	01:57:53.437736	1838	1838
329	01:57:53.453753	1811	1811
330	01:57:53.470354	1851	1851
331	01:57:53.487146	1862	1862
332	01:57:53.503180	1844	1844
333	01:57:53.519209	1882	1882
334	01:57:53.535301	1835	1835

335	01:57:53.551193	1817	1817
336	01:57:53.568073	1824	1824
337	01:57:53.584261	1758	1758
338	01:57:53.600367	1775	1775
339	01:57:53.616340	1766	1766
340	01:57:53.632449	1739	1739
341	01:57:53.649285	1764	1764
342	01:57:53.666506	1713	1713
343	01:57:53.682884	1714	1714
344	01:57:53.698571	1730	1730
345	01:57:53.715181	1692	1692
346	01:57:53.742624	1727	1727
347	01:57:53.758573	1696	1696
348	01:57:53.775131	1656	1656
349	01:57:53.790961	1702	1702
350	01:57:53.807075	1696	1696
351	01:57:53.823004	1786	1786
352	01:57:53.838803	1995	1995
353	01:57:53.854645	2154	2154
354	01:57:53.870394	2204	2204
355	01:57:53.886821	2095	2095
356	01:57:53.902678	1915	1915
357	01:57:53.918543	1899	1899
358	01:57:53.934318	1862	1862
359	01:57:53.950016	1848	1848
360	01:57:53.966540	1832	1832
361	01:57:53.991796	1762	1762
362	01:57:54.015275	1777	1777
363	01:57:54.038714	1744	1744
364	01:57:54.063041	1713	1713
365	01:57:54.092343	1763	1763
366	01:57:54.108257	1717	1717
367	01:57:54.124028	1713	1713
368	01:57:54.139930	1753	1753
369	01:57:54.155842	1711	1711
370	01:57:54.171934	1733	1733
371	01:57:54.188147	1752	1752
372	01:57:54.204099	1742	1742

373	01:57:54.219916	1787	1787
374	01:57:54.235642	1771	1771
375	01:57:54.251264	1794	1794
376	01:57:54.266905	1835	1835
377	01:57:54.283380	1814	1814
378	01:57:54.299350	1865	1865
379	01:57:54.315519	1878	1878
380	01:57:54.331235	1860	1860
381	01:57:54.346947	1917	1917
382	01:57:54.362462	1894	1894
383	01:57:54.377972	1908	1908
384	01:57:54.394363	1947	1947
385	01:57:54.410122	1911	1911
386	01:57:54.451804	1942	1942
387	01:57:54.467624	1955	1955
388	01:57:54.484199	1924	1924
389	01:57:54.500047	1929	1929
390	01:57:54.515550	1875	1875
391	01:57:54.530997	1871	1871
392	01:57:54.546675	1838	1838
393	01:57:54.562428	1746	1746
394	01:57:54.577757	1745	1745
395	01:57:54.593917	1697	1697
396	01:57:54.609131	1647	1647
397	01:57:54.624618	1667	1667
398	01:57:54.640374	1618	1618
399	01:57:54.655948	1625	1625
400	01:57:54.671145	1625	1625
401	01:57:54.687246	1570	1570
402	01:57:54.702630	1603	1603
403	01:57:54.717890	1586	1586
404	01:57:54.733799	1573	1573
405	01:57:54.749088	1600	1600
406	01:57:54.764806	1585	1585
407	01:57:54.795991	1591	1591
408	01:57:54.839402	1592	1592
409	01:57:54.862591	1563	1563
410	01:57:54.882144	1598	1598

411	01:57:54.898913	1560	1560
412	01:57:54.915026	1537	1537
413	01:57:54.931279	1564	1564
414	01:57:54.947052	1548	1548
415	01:57:54.963101	1550	1550
416	01:57:54.978783	1570	1570
417	01:57:54.995649	1532	1532
418	01:57:55.011402	1565	1565
419	01:57:55.027610	1557	1557
420	01:57:55.043396	1540	1540
421	01:57:55.059285	1568	1568
422	01:57:55.074996	1542	1542
423	01:57:55.090992	1563	1563
424	01:57:55.107231	1564	1564
425	01:57:55.123428	1539	1539
426	01:57:55.139193	1597	1597
427	01:57:55.155317	1580	1580
428	01:57:55.171010	1573	1573
429	01:57:55.187069	1615	1615
430	01:57:55.204311	1572	1572
431	01:57:55.232335	1561	1561
432	01:57:55.248497	1548	1548
433	01:57:55.264758	1502	1502
434	01:57:55.280530	1493	1493
435	01:57:55.296979	1469	1469
436	01:57:55.313162	1441	1441
437	01:57:55.329790	1463	1463
438	01:57:55.345531	1427	1427
439	01:57:55.361885	1433	1433
440	01:57:55.377753	1442	1442
441	01:57:55.394115	1395	1395
442	01:57:55.410618	1425	1425
443	01:57:55.426929	1389	1389
444	01:57:55.442719	1366	1366
445	01:57:55.458794	1396	1396
446	01:57:55.474602	1370	1370
447	01:57:55.491358	1449	1449
448	01:57:55.507971	1629	1629

449	01:57:55.523800	1794	1794
450	01:57:55.539485	1955	1955
451	01:57:55.555627	1863	1863
452	01:57:55.572389	1712	1712
453	01:57:55.600281	1623	1623
454	01:57:55.616909	1578	1578
455	01:57:55.633064	1571	1571
456	01:57:55.648832	1537	1537
457	01:57:55.665069	1459	1459
458	01:57:55.680817	1490	1490
459	01:57:55.697138	1463	1463
460	01:57:55.713393	1442	1442
461	01:57:55.730105	1476	1476
462	01:57:55.745910	1428	1428
463	01:57:55.762180	1447	1447
464	01:57:55.784068	1456	1456
465	01:57:55.800247	1430	1430
466	01:57:55.816511	1459	1459
467	01:57:55.832747	1466	1466
468	01:57:55.848590	1478	1478
469	01:57:55.864848	1508	1508
470	01:57:55.880848	1487	1487
471	01:57:55.897202	1542	1542
472	01:57:55.913647	1544	1544
473	01:57:55.930716	1533	1533
474	01:57:55.958484	1614	1614
475	01:57:55.974555	1603	1603
476	01:57:55.990529	1619	1619
477	01:57:56.006717	1668	1668
478	01:57:56.023418	1648	1648
479	01:57:56.039282	1677	1677
480	01:57:56.055618	1689	1689
481	01:57:56.071374	1685	1685
482	01:57:56.087999	1739	1739
483	01:57:56.103781	1738	1738
484	01:57:56.119979	1732	1732
485	01:57:56.136981	1736	1736
486	01:57:56.152589	1681	1681

487	01:57:56.168460	1683	1683
488	01:57:56.184264	1645	1645
489	01:57:56.200432	1583	1583
490	01:57:56.216844	1596	1596
491	01:57:56.232990	1534	1534
492	01:57:56.248796	1506	1506
493	01:57:56.264992	1508	1508
494	01:57:56.289419	1440	1440
495	01:57:56.318082	1445	1445
496	01:57:56.333890	1445	1445
497	01:57:56.349695	1405	1405
498	01:57:56.365820	1423	1423
499	01:57:56.381894	1399	1399
500	01:57:56.398624	1402	1402
501	01:57:56.414617	1417	1417
502	01:57:56.431660	1385	1385
503	01:57:56.448184	1412	1412
504	01:57:56.464652	1400	1400
505	01:57:56.481455	1375	1375
506	01:57:56.498127	1412	1412
507	01:57:56.514147	1383	1383
508	01:57:56.531191	1381	1381
509	01:57:56.547399	1410	1410
510	01:57:56.563894	1377	1377
511	01:57:56.579916	1398	1398
512	01:57:56.596323	1407	1407
513	01:57:56.612369	1376	1376
514	01:57:56.629238	1396	1396
515	01:57:56.662558	1377	1377
516	01:57:56.678729	1383	1383
517	01:57:56.695186	1398	1398
518	01:57:56.711165	1355	1355
519	01:57:56.728394	1387	1387
520	01:57:56.744754	1379	1379
521	01:57:56.761276	1347	1347
522	01:57:56.777287	1383	1383
523	01:57:56.793732	1352	1352
524	01:57:56.809715	1365	1365

525	01:57:56.826233	1406	1406
526	01:57:56.842852	1377	1377
527	01:57:56.859274	1400	1400
528	01:57:56.875197	1411	1411
529	01:57:56.891307	1381	1381
530	01:57:56.907362	1393	1393
531	01:57:56.923739	1342	1342
532	01:57:56.940489	1326	1326
533	01:57:56.956846	1331	1331
534	01:57:56.973714	1272	1272
535	01:57:57.002514	1298	1298
536	01:57:57.018682	1277	1277
537	01:57:57.035484	1235	1235
538	01:57:57.051516	1264	1264
539	01:57:57.067793	1222	1222
540	01:57:57.083993	1215	1215
541	01:57:57.100266	1236	1236
542	01:57:57.116098	1180	1180
543	01:57:57.132452	1200	1200
544	01:57:57.149005	1195	1195
545	01:57:57.165310	1193	1193
546	01:57:57.181046	1303	1303
547	01:57:57.197378	1420	1420
548	01:57:57.213196	1652	1652
549	01:57:57.229466	1753	1753
550	01:57:57.245894	1631	1631
551	01:57:57.262119	1519	1519
552	01:57:57.277882	1400	1400
553	01:57:57.294262	1368	1368
554	01:57:57.310024	1388	1388
555	01:57:57.326341	1296	1296
556	01:57:57.360965	1279	1279
557	01:57:57.376882	1290	1290
558	01:57:57.393117	1232	1232
559	01:57:57.409317	1248	1248
560	01:57:57.425785	1242	1242
561	01:57:57.442524	1213	1213
562	01:57:57.458766	1237	1237

563	01:57:57.474571	1215	1215
564	01:57:57.491631	1230	1230
565	01:57:57.507594	1243	1243
566	01:57:57.523614	1218	1218
567	01:57:57.539502	1264	1264
568	01:57:57.556001	1255	1255
569	01:57:57.571785	1239	1239
570	01:57:57.587886	1290	1290
571	01:57:57.603736	1265	1265
572	01:57:57.620042	1288	1288
573	01:57:57.636097	1339	1339
574	01:57:57.652281	1319	1319
575	01:57:57.667618	1374	1374
576	01:57:57.683111	1393	1393
577	01:57:57.698995	1392	1392
578	01:57:57.714481	1440	1440
579	01:57:57.733572	1430	1430
580	01:57:57.761874	1461	1461
581	01:57:57.777332	1473	1473
582	01:57:57.793301	1436	1436
583	01:57:57.809122	1472	1472
584	01:57:57.825158	1446	1446
585	01:57:57.840864	1406	1406
586	01:57:57.857351	1411	1411
587	01:57:57.872833	1338	1338
588	01:57:57.888664	1317	1317
589	01:57:57.904348	1302	1302
590	01:57:57.920080	1231	1231
591	01:57:57.935515	1226	1226
592	01:57:57.950951	1195	1195
593	01:57:57.967015	1159	1159
594	01:57:57.982511	1169	1169
595	01:57:57.998357	1121	1121
596	01:57:58.013814	1133	1133
597	01:57:58.029715	1117	1117
598	01:57:58.045268	1083	1083
599	01:57:58.061860	1117	1117
600	01:57:58.077166	1091	1091

601	01:57:58.095654	1068	1068
602	01:57:58.123088	1105	1105
603	01:57:58.138659	1061	1061
604	01:57:58.154421	1074	1074
605	01:57:58.170321	1089	1089
606	01:57:58.185999	1052	1052
607	01:57:58.201935	1067	1067
608	01:57:58.217252	1076	1076
609	01:57:58.233017	1064	1064
610	01:57:58.248649	1088	1088
611	01:57:58.264987	1056	1056
612	01:57:58.280466	1066	1066
613	01:57:58.296650	1068	1068
614	01:57:58.312201	1022	1022
615	01:57:58.328321	1058	1058
616	01:57:58.343629	1017	1017
617	01:57:58.358995	1020	1020
618	01:57:58.374963	1050	1050
619	01:57:58.390446	994	994
620	01:57:58.406448	1026	1026
621	01:57:58.422260	1023	1023
622	01:57:58.437955	1018	1018
623	01:57:58.454944	1038	1038
624	01:57:58.483830	1016	1016
625	01:57:58.500099	1046	1046
626	01:57:58.516068	1065	1065
627	01:57:58.532311	1031	1031
628	01:57:58.548546	1093	1093
629	01:57:58.564827	1055	1055
630	01:57:58.581342	1043	1043
631	01:57:58.597092	1073	1073
632	01:57:58.612714	1003	1003
633	01:57:58.628167	987	987
634	01:57:58.644255	982	982
635	01:57:58.660400	971	971
636	01:57:58.676499	962	962
637	01:57:58.692273	936	936
638	01:57:58.708008	950	950

639	01:57:58.723667	924	924
640	01:57:58.739163	924	924
641	01:57:58.754891	902	902
642	01:57:58.770599	931	931
643	01:57:58.786722	887	887
644	01:57:58.802640	914	914
645	01:57:58.845551	872	872
646	01:57:58.861750	915	915
647	01:57:58.878515	850	850
648	01:57:58.894814	897	897
649	01:57:58.911181	889	889
650	01:57:58.927365	993	993
651	01:57:58.943303	1080	1080
652	01:57:58.959576	1307	1307
653	01:57:58.975572	1446	1446
654	01:57:58.992203	1316	1316
655	01:57:59.008357	1195	1195
656	01:57:59.024368	1085	1085
657	01:57:59.040303	1076	1076
658	01:57:59.056284	1074	1074
659	01:57:59.072220	1001	1001
660	01:57:59.088740	1010	1010
661	01:57:59.104819	999	999
662	01:57:59.129071	959	959
663	01:57:59.156512	970	970
664	01:57:59.201629	947	947
665	01:57:59.218615	973	973
666	01:57:59.234030	930	930
667	01:57:59.250148	959	959
668	01:57:59.265695	924	924
669	01:57:59.281151	962	962
670	01:57:59.297334	933	933
671	01:57:59.312679	974	974
672	01:57:59.328563	940	940
673	01:57:59.343917	979	979
674	01:57:59.359746	965	965
675	01:57:59.375061	995	995
676	01:57:59.391523	987	987

677	01:57:59.408118	1015	1015
678	01:57:59.424590	1039	1039
679	01:57:59.440645	1045	1045
680	01:57:59.457256	1089	1089
681	01:57:59.473235	1100	1100
682	01:57:59.490356	1122	1122
683	01:57:59.507107	1161	1161
684	01:57:59.540338	1141	1141
685	01:57:59.556972	1193	1193
686	01:57:59.572928	1198	1198
687	01:57:59.589410	1191	1191
688	01:57:59.606150	1237	1237
689	01:57:59.622699	1198	1198
690	01:57:59.638696	1198	1198
691	01:57:59.655185	1214	1214
692	01:57:59.671170	1153	1153
693	01:57:59.687356	1142	1142
694	01:57:59.704184	1119	1119
695	01:57:59.720338	1067	1067
696	01:57:59.736300	1060	1060
697	01:57:59.752616	1011	1011
698	01:57:59.768623	997	997
699	01:57:59.784698	977	977
700	01:57:59.801373	935	935
701	01:57:59.817797	945	945
702	01:57:59.833701	912	912
703	01:57:59.850030	920	920
704	01:57:59.865958	878	878
705	01:57:59.883073	904	904
706	01:57:59.911937	868	868
707	01:57:59.928406	904	904
708	01:57:59.944305	864	864
709	01:57:59.960861	901	901
710	01:57:59.976870	855	855
711	01:57:59.993430	891	891
712	01:58:00.011032	862	862
713	01:58:00.027459	897	897
714	01:58:00.043444	857	857

715	01:58:00.059936	884	884
716	01:58:00.075882	869	869
717	01:58:00.092271	897	897
718	01:58:00.108934	868	868
719	01:58:00.125352	874	874
720	01:58:00.141187	878	878
721	01:58:00.157256	884	884
722	01:58:00.172601	875	875
723	01:58:00.188201	863	863
724	01:58:00.204318	889	889
725	01:58:00.219956	868	868
726	01:58:00.235470	886	886
727	01:58:00.254494	861	861
728	01:58:00.281641	895	895
729	01:58:00.297252	880	880
730	01:58:00.313218	903	903
731	01:58:00.328684	869	869
732	01:58:00.344429	911	911
733	01:58:00.360394	897	897
734	01:58:00.375955	942	942
735	01:58:00.391674	918	918
736	01:58:00.410269	953	953
737	01:58:00.425934	912	912
738	01:58:00.441251	949	949
739	01:58:00.456865	916	916
740	01:58:00.472311	938	938
741	01:58:00.488999	871	871
742	01:58:00.504566	867	867
743	01:58:00.520848	848	848
744	01:58:00.536253	853	853
745	01:58:00.551854	829	829
746	01:58:00.567366	824	824
747	01:58:00.583172	823	823
748	01:58:00.599141	818	818
749	01:58:00.622278	809	809
750	01:58:00.677462	788	788
751	01:58:00.700983	809	809
752	01:58:00.723977	789	789

753	01:58:00.739495	810	810
754	01:58:00.755391	767	767
755	01:58:00.770869	792	792
756	01:58:00.786615	746	746
757	01:58:00.802220	791	791
758	01:58:00.818398	793	793
759	01:58:00.833729	914	914
760	01:58:00.849486	1022	1022
761	01:58:00.864911	1256	1256
762	01:58:00.880405	1351	1351
763	01:58:00.895848	1222	1222
764	01:58:00.911346	1088	1088
765	01:58:00.927642	982	982
766	01:58:00.942992	1012	1012
767	01:58:00.958657	968	968
768	01:58:00.974036	918	918
769	01:58:00.989573	910	910
770	01:58:01.008202	885	885
771	01:58:01.040704	891	891
772	01:58:01.057235	849	849
773	01:58:01.072819	868	868
774	01:58:01.089092	839	839
775	01:58:01.104804	870	870
776	01:58:01.121792	830	830
777	01:58:01.137183	864	864
778	01:58:01.153428	834	834
779	01:58:01.168843	869	869
780	01:58:01.184481	844	844
781	01:58:01.200207	891	891
782	01:58:01.215885	845	845
783	01:58:01.231989	868	868
784	01:58:01.247821	885	885
785	01:58:01.263551	911	911
786	01:58:01.279182	901	901
787	01:58:01.294750	923	923
788	01:58:01.310157	943	943
789	01:58:01.326895	974	974
790	01:58:01.342310	980	980

791	01:58:01.358216	997	997
792	01:58:01.374075	1029	1029
793	01:58:01.405426	1031	1031
794	01:58:01.421734	1083	1083
795	01:58:01.437804	1090	1090
796	01:58:01.454011	1108	1108
797	01:58:01.469695	1138	1138
798	01:58:01.485993	1114	1114
799	01:58:01.502265	1154	1154
800	01:58:01.518015	1134	1134
801	01:58:01.534059	1099	1099
802	01:58:01.549653	1115	1115
803	01:58:01.565247	1055	1055
804	01:58:01.581168	1028	1028
805	01:58:01.596816	1017	1017
806	01:58:01.612471	949	949
807	01:58:01.628210	956	956
808	01:58:01.644280	903	903
809	01:58:01.660228	917	917
810	01:58:01.675731	860	860
811	01:58:01.691664	868	868
812	01:58:01.707304	846	846
813	01:58:01.723310	852	852
814	01:58:01.739470	819	819
815	01:58:01.756140	814	814
816	01:58:01.782839	814	814
817	01:58:01.799056	812	812
818	01:58:01.815003	805	805
819	01:58:01.830547	786	786
820	01:58:01.847163	809	809
821	01:58:01.862861	796	796
822	01:58:01.878607	815	815
823	01:58:01.894332	779	779
824	01:58:01.909767	811	811
825	01:58:01.925818	781	781
826	01:58:01.942021	812	812
827	01:58:01.958257	778	778
828	01:58:01.973821	815	815

829	01:58:01.989819	776	776
830	01:58:02.005490	815	815
831	01:58:02.021239	779	779
832	01:58:02.037657	821	821
833	01:58:02.053587	777	777
834	01:58:02.069176	808	808
835	01:58:02.084929	787	787
836	01:58:02.100249	815	815
837	01:58:02.115797	788	788
838	01:58:02.134403	778	778
839	01:58:02.161423	782	782
840	01:58:02.177356	797	797
841	01:58:02.193407	786	786
842	01:58:02.209323	781	781
843	01:58:02.225521	803	803
844	01:58:02.241838	802	802
845	01:58:02.257706	810	810
846	01:58:02.273183	797	797
847	01:58:02.289493	839	839
848	01:58:02.305196	821	821
849	01:58:02.321291	861	861
850	01:58:02.336986	829	829
851	01:58:02.353478	872	872
852	01:58:02.368952	827	827
853	01:58:02.385010	860	860
854	01:58:02.400910	806	806
855	01:58:02.416993	815	815
856	01:58:02.432742	755	755
857	01:58:02.449249	773	773
858	01:58:02.464932	743	743
859	01:58:02.480864	764	764
860	01:58:02.497323	719	719
861	01:58:02.514774	733	733
862	01:58:02.542402	723	723
863	01:58:02.558754	742	742
864	01:58:02.574034	709	709
865	01:58:02.589643	707	707
866	01:58:02.605103	713	713

867	01:58:02.620683	711	711
868	01:58:02.635810	700	700
869	01:58:02.652325	674	674
870	01:58:02.667623	691	691
871	01:58:02.683685	698	698
872	01:58:02.699139	765	765
873	01:58:02.714719	835	835
874	01:58:02.729922	1030	1030
875	01:58:02.745641	1214	1214
876	01:58:02.761775	1271	1271
877	01:58:02.777262	1157	1157
878	01:58:02.792736	975	975
879	01:58:02.808247	946	946
880	01:58:02.824102	905	905
881	01:58:02.839457	918	918
882	01:58:02.855934	853	853
883	01:58:02.871278	856	856
884	01:58:02.886937	809	809
885	01:58:02.902367	824	824
886	01:58:02.918608	774	774
887	01:58:02.934280	796	796
888	01:58:02.950359	770	770
889	01:58:02.966439	794	794
890	01:58:02.986441	765	765
891	01:58:03.014520	776	776
892	01:58:03.030227	780	780
893	01:58:03.046480	800	800
894	01:58:03.063023	788	788
895	01:58:03.079415	783	783
896	01:58:03.095371	809	809
897	01:58:03.111328	815	815
898	01:58:03.127540	826	826
899	01:58:03.143404	816	816
900	01:58:03.160054	859	859
901	01:58:03.175913	847	847
902	01:58:03.191810	888	888
903	01:58:03.207897	872	872
904	01:58:03.223723	928	928



905	01:58:03.239476	911	911	943	01:58:03.927171	954	938
906	01:58:03.255483	969	969	944	01:58:03.942963	906	954
907	01:58:03.271723	952	952	945	01:58:03.958978	930	906
908	01:58:03.287715	1010	1010	946	01:58:03.975617	905	930
909	01:58:03.303492	1002	1002	947	01:58:03.991683	928	905
910	01:58:03.319614	1026	1026	948	01:58:04.007612	886	928
911	01:58:03.341843	1068	1068	949	01:58:04.023465	918	886
912	01:58:03.370716	1045	0	950	01:58:04.039360	876	918
913	01:58:03.387044	1000	1045	951	01:58:04.055661	911	876
914	01:58:03.403298	1015	1000	952	01:58:04.071745	873	911
915	01:58:03.419271	970	1015	953	01:58:04.088343	906	873
916	01:58:03.435009	944	970	954	01:58:04.104189	864	906
917	01:58:03.451119	954	944	955	01:58:04.120422	920	864
918	01:58:03.467808	938	954	956	01:58:04.136697	964	920
919	01:58:03.483641	954	938	957	01:58:04.164674	1120	964
920	01:58:03.500132	906	954	958	01:58:04.181819	1306	1120
921	01:58:03.516269	930	906	959	01:58:04.197728	1452	1306
922	01:58:03.532085	905	930	960	01:58:04.214001	1411	1452
923	01:58:03.552152	928	905	961	01:58:04.229868	1232	1411
924	01:58:03.577109	886	928	962	01:58:04.246052	1128	1232
925	01:58:03.601155	996	886	963	01:58:04.262250	1137	1128
926	01:58:03.625841	961	996	964	01:58:04.278181	1085	1137
927	01:58:03.649659	983	961	965	01:58:04.294473	1073	1085
928	01:58:03.666893	986	983	966	01:58:04.310945	1037	1073
929	01:58:03.683479	989	986	967	01:58:04.327009	1018	1037
930	01:58:03.699244	968	989	968	01:58:04.343014	1031	1018
931	01:58:03.715570	1008	968	969	01:58:04.358953	987	1031
932	01:58:03.730915	992	1008	970	01:58:04.374675	1008	987
933	01:58:03.746605	1035	992	971	01:58:04.390956	992	1008
934	01:58:03.762538	1024	1035	972	01:58:04.409947	977	992
935	01:58:03.797342	1038	1024	973	01:58:04.425540	997	977
936	01:58:03.813614	1045	1038	974	01:58:04.441038	993	997
937	01:58:03.829644	1000	1045	975	01:58:04.456806	1017	993
938	01:58:03.845922	1015	1000	976	01:58:04.472499	985	1017
939	01:58:03.861782	970	1015	977	01:58:04.491920	1031	985
940	01:58:03.878673	944	970	978	01:58:04.533106	997	1031
941	01:58:03.894694	954	944	979	01:58:04.550072	1035	997
942	01:58:03.911147	938	954	980	01:58:04.568669	1048	1035

981	01:58:04.584926	1050	1048
982	01:58:04.601330	1091	1050
983	01:58:04.617334	1083	1091
984	01:58:04.633744	1127	1083
985	01:58:04.651693	1155	1127
986	01:58:04.668024	1144	1155
987	01:58:04.684391	1210	1144
988	01:58:04.702032	1207	1210
989	01:58:04.718115	1208	1207
990	01:58:04.734174	1265	1208

991	01:58:04.750564	1245	1265
992	01:58:04.767765	1269	1245
993	01:58:04.784209	1307	1269
994	01:58:04.801163	1264	1307
995	01:58:04.817605	1287	1264
996	01:58:04.833322	1273	1287
997	01:58:04.849197	1237	1273
998	01:58:04.865277	1225	1237
999	01:58:04.881752	1178	1225
1000	01:58:04.909833	1176	1178

**Tabel C.2** Tabel data EKG Lead 1 koneksi ITS (1000 data)

No. Data	Waktu (s)	Data ADC (mV)	Data Server (mV)
1	02:01:11.078778	1078	1078
2	02:01:11.097349	1028	1028
3	02:01:11.117870	1074	1074
4	02:01:11.136042	986	986
5	02:01:11.155320	995	995
6	02:01:11.167875	1001	1001
7	02:01:11.179452	958	958
8	02:01:11.190906	912	912
9	02:01:11.202014	837	837
10	02:01:11.214745	893	893
11	02:01:11.225946	840	840
12	02:01:11.238522	831	831
13	02:01:11.250656	638	638
14	02:01:11.261803	638	638
15	02:01:11.273231	639	639
16	02:01:11.284813	640	640
17	02:01:11.295909	638	638
18	02:01:11.307381	640	640
19	02:01:11.319866	639	639
20	02:01:11.331471	640	640
21	02:01:11.343074	640	640
22	02:01:11.354545	642	642

23	02:01:11.365757	641	641
24	02:01:11.376986	653	653
25	02:01:11.391650	645	645
26	02:01:11.417295	641	641
27	02:01:11.429856	643	643
28	02:01:11.441308	655	655
29	02:01:11.452717	639	639
30	02:01:11.464085	642	642
31	02:01:11.475815	635	635
32	02:01:11.487578	648	648
33	02:01:11.498927	644	644
34	02:01:11.515209	642	642
35	02:01:11.531575	642	642
36	02:01:11.547419	639	639
37	02:01:11.562779	641	641
38	02:01:11.578777	645	645
39	02:01:11.595294	644	644
40	02:01:11.611485	628	628
41	02:01:11.628483	646	646
42	02:01:11.644287	608	608
43	02:01:11.660083	637	637
44	02:01:11.676042	616	616
45	02:01:11.692067	613	613
46	02:01:11.719621	622	622
47	02:01:11.755048	639	639
48	02:01:11.770776	648	648

49	02:01:11.787429	621	621
50	02:01:11.803362	649	649
51	02:01:11.819597	632	632
52	02:01:11.836250	673	673
53	02:01:11.852448	642	642
54	02:01:11.870189	693	693
55	02:01:11.894321	663	663
56	02:01:11.919337	718	718
57	02:01:11.944532	689	689
58	02:01:11.968371	747	747
59	02:01:11.992203	719	719
60	02:01:12.022662	804	804
61	02:01:12.039518	869	869
62	02:01:12.055774	880	880
63	02:01:12.071750	795	795
64	02:01:12.088335	794	794
65	02:01:12.104414	777	777
66	02:01:12.121613	817	817
67	02:01:12.137749	818	818
68	02:01:12.154716	813	813
69	02:01:12.170630	824	824
70	02:01:12.186733	834	834
71	02:01:12.202779	849	849
72	02:01:12.218866	821	821
73	02:01:12.234836	894	894
74	02:01:12.252244	925	925
75	02:01:12.281815	966	966
76	02:01:12.298037	868	868
77	02:01:12.314139	797	797
78	02:01:12.330199	625	625
79	02:01:12.347106	586	586
80	02:01:12.363103	483	483
81	02:01:12.379097	509	509
82	02:01:12.395002	442	442
83	02:01:12.411248	479	479
84	02:01:12.427731	429	429
85	02:01:12.443989	448	448
86	02:01:12.460735	398	398

87	02:01:12.477153	418	418
88	02:01:12.493230	402	402
89	02:01:12.509872	421	421
90	02:01:12.531092	378	378
91	02:01:12.561954	385	385
92	02:01:12.578341	392	392
93	02:01:12.594712	389	389
94	02:01:12.611159	388	388
95	02:01:12.627364	366	366
96	02:01:12.643748	395	395
97	02:01:12.660707	367	367
98	02:01:12.677199	396	396
99	02:01:12.693393	347	347
100	02:01:12.709559	403	403
101	02:01:12.725195	338	338
102	02:01:12.741013	382	382
103	02:01:12.756581	331	331
104	02:01:12.772898	374	374
105	02:01:12.789470	320	320
106	02:01:12.818808	374	374
107	02:01:12.834451	346	346
108	02:01:12.850228	380	380
109	02:01:12.866907	328	328
110	02:01:12.882316	353	353
111	02:01:12.898028	340	340
112	02:01:12.913651	372	372
113	02:01:12.929184	363	363
114	02:01:12.944870	383	383
115	02:01:12.960379	399	399
116	02:01:12.976694	401	401
117	02:01:12.992185	393	393
118	02:01:13.007788	352	352
119	02:01:13.023286	392	392
120	02:01:13.038780	372	372
121	02:01:13.055805	333	333
122	02:01:13.086070	249	249
123	02:01:13.102228	248	248
124	02:01:13.118179	204	204

125	02:01:13.134391	286	286	163	02:01:13.775790	241	241
126	02:01:13.150203	205	205	164	02:01:13.791815	232	232
127	02:01:13.165980	209	209	165	02:01:13.807622	281	281
128	02:01:13.182169	152	152	166	02:01:13.823228	280	280
129	02:01:13.197582	242	242	167	02:01:13.838740	310	310
130	02:01:13.213518	215	215	168	02:01:13.858224	288	288
131	02:01:13.229017	202	202	169	02:01:13.887672	346	346
132	02:01:13.244605	126	126	170	02:01:13.903709	326	326
133	02:01:13.260172	142	142	171	02:01:13.919277	394	394
134	02:01:13.276601	134	134	172	02:01:13.934645	363	363
135	02:01:13.292137	166	166	173	02:01:13.950442	425	425
136	02:01:13.307700	152	152	174	02:01:13.965865	397	397
137	02:01:13.329873	227	227	175	02:01:13.981472	474	474
138	02:01:13.359603	386	386	176	02:01:13.997668	462	462
139	02:01:13.375923	577	577	177	02:01:14.013735	540	540
140	02:01:13.391539	749	749	178	02:01:14.029121	478	478
141	02:01:13.407509	719	719	179	02:01:14.044709	477	477
142	02:01:13.422984	638	638	180	02:01:14.060357	468	468
143	02:01:13.439016	473	473	181	02:01:14.076011	483	483
144	02:01:13.454540	391	391	182	02:01:14.091374	457	457
145	02:01:13.470150	331	331	183	02:01:14.107510	457	457
146	02:01:13.486705	359	359	184	02:01:14.124654	453	453
147	02:01:13.502158	296	296	185	02:01:14.154169	440	440
148	02:01:13.517930	310	310	186	02:01:14.169754	415	415
149	02:01:13.533275	231	231	187	02:01:14.185307	377	377
150	02:01:13.548902	242	242	188	02:01:14.201647	381	381
151	02:01:13.564330	165	165	189	02:01:14.217384	339	339
152	02:01:13.580618	188	188	190	02:01:14.232819	330	330
153	02:01:13.602265	164	164	191	02:01:14.248320	290	290
154	02:01:13.632098	212	212	192	02:01:14.263926	312	312
155	02:01:13.647651	158	158	193	02:01:14.279921	259	259
156	02:01:13.663834	191	191	194	02:01:14.295401	298	298
157	02:01:13.679394	187	187	195	02:01:14.311340	248	248
158	02:01:13.696369	212	212	196	02:01:14.326968	287	287
159	02:01:13.712999	187	187	197	02:01:14.342822	232	232
160	02:01:13.729098	208	208	198	02:01:14.358622	281	281
161	02:01:13.744753	221	221	199	02:01:14.374269	243	243
162	02:01:13.760121	231	231	200	02:01:14.393523	278	278

201	02:01:14.423118	237	237	239	02:01:15.072149	535	535
202	02:01:14.439232	282	282	240	02:01:15.087789	596	596
203	02:01:14.454982	265	265	241	02:01:15.103721	555	555
204	02:01:14.470842	297	297	242	02:01:15.119914	613	613
205	02:01:14.486667	278	278	243	02:01:15.136513	564	564
206	02:01:14.502986	305	305	244	02:01:15.152105	614	614
207	02:01:14.519289	316	316	245	02:01:15.168076	590	590
208	02:01:14.535102	347	347	246	02:01:15.183910	669	669
209	02:01:14.550765	344	344	247	02:01:15.207089	692	692
210	02:01:14.566644	331	331	248	02:01:15.237023	876	876
211	02:01:14.582347	361	361	249	02:01:15.253097	1047	1047
212	02:01:14.598529	359	359	250	02:01:15.269253	1291	1291
213	02:01:14.614858	394	394	251	02:01:15.285286	1286	1286
214	02:01:14.630736	369	369	252	02:01:15.301349	1113	1113
215	02:01:14.646822	413	413	253	02:01:15.318102	1007	1007
216	02:01:14.669453	383	383	254	02:01:15.333809	943	943
217	02:01:14.705021	448	448	255	02:01:15.349539	939	939
218	02:01:14.720801	407	407	256	02:01:15.365130	937	937
219	02:01:14.737372	457	457	257	02:01:15.381009	907	907
220	02:01:14.753185	417	417	258	02:01:15.396879	910	910
221	02:01:14.769009	478	478	259	02:01:15.413556	882	882
222	02:01:14.784819	465	465	260	02:01:15.429698	915	915
223	02:01:14.800678	534	534	261	02:01:15.445577	875	875
224	02:01:14.817036	501	501	262	02:01:15.462071	935	935
225	02:01:14.832859	554	554	263	02:01:15.490799	903	903
226	02:01:14.848592	545	545	264	02:01:15.514783	948	948
227	02:01:14.864477	575	575	265	02:01:15.539550	919	919
228	02:01:14.880490	563	563	266	02:01:15.562795	978	978
229	02:01:14.896580	566	566	267	02:01:15.585996	959	959
230	02:01:14.913011	563	563	268	02:01:15.605091	1022	1022
231	02:01:14.931023	554	554	269	02:01:15.621224	999	999
232	02:01:14.959677	539	539	270	02:01:15.637102	1015	1015
233	02:01:14.975749	514	514	271	02:01:15.653043	1059	1059
234	02:01:14.991715	549	549	272	02:01:15.669047	1040	1040
235	02:01:15.008336	534	534	273	02:01:15.684796	1107	1107
236	02:01:15.024183	567	567	274	02:01:15.700500	1127	1127
237	02:01:15.040282	526	526	275	02:01:15.716974	1144	1144
238	02:01:15.056048	569	569	276	02:01:15.739877	1200	1200

277	02:01:15.768106	1199	1199	315	02:01:16.409227	1350	1350
278	02:01:15.783843	1255	1255	316	02:01:16.424977	1405	1405
279	02:01:15.799592	1299	1299	317	02:01:16.441670	1379	1379
280	02:01:15.815418	1292	1292	318	02:01:16.457645	1406	1406
281	02:01:15.831706	1368	1368	319	02:01:16.473277	1447	1447
282	02:01:15.847329	1375	1375	320	02:01:16.489055	1409	1409
283	02:01:15.862879	1394	1394	321	02:01:16.505004	1443	1443
284	02:01:15.878673	1458	1458	322	02:01:16.520959	1423	1423
285	02:01:15.894379	1430	1430	323	02:01:16.554487	1385	1385
286	02:01:15.910223	1459	1459	324	02:01:16.570170	1392	1392
287	02:01:15.926528	1494	1494	325	02:01:16.585897	1336	1336
288	02:01:15.942220	1464	1464	326	02:01:16.601690	1330	1330
289	02:01:15.958078	1477	1477	327	02:01:16.617603	1329	1329
290	02:01:15.973957	1457	1457	328	02:01:16.633356	1276	1276
291	02:01:15.990366	1415	1415	329	02:01:16.649453	1303	1303
292	02:01:16.023329	1431	1431	330	02:01:16.665167	1274	1274
293	02:01:16.039833	1379	1379	331	02:01:16.681066	1239	1239
294	02:01:16.055485	1373	1373	332	02:01:16.696870	1275	1275
295	02:01:16.071267	1364	1364	333	02:01:16.712759	1215	1215
296	02:01:16.086992	1310	1310	334	02:01:16.728644	1214	1214
297	02:01:16.105434	1342	1342	335	02:01:16.745060	1230	1230
298	02:01:16.121362	1308	1308	336	02:01:16.760749	1169	1169
299	02:01:16.138552	1293	1293	337	02:01:16.776662	1226	1226
300	02:01:16.154413	1328	1328	338	02:01:16.799919	1289	1289
301	02:01:16.170256	1271	1271	339	02:01:16.828610	1437	1437
302	02:01:16.186084	1287	1287	340	02:01:16.845014	1710	1710
303	02:01:16.201733	1316	1316	341	02:01:16.860739	1827	1827
304	02:01:16.217617	1271	1271	342	02:01:16.876597	1712	1712
305	02:01:16.234070	1316	1316	343	02:01:16.892325	1538	1538
306	02:01:16.249925	1323	1323	344	02:01:16.908317	1358	1358
307	02:01:16.270543	1294	1294	345	02:01:16.924067	1370	1370
308	02:01:16.298448	1341	1341	346	02:01:16.939900	1306	1306
309	02:01:16.314059	1325	1325	347	02:01:16.956252	1237	1237
310	02:01:16.329889	1350	1350	348	02:01:16.972206	1247	1247
311	02:01:16.346167	1370	1370	349	02:01:16.987783	1190	1190
312	02:01:16.361943	1330	1330	350	02:01:17.003498	1167	1167
313	02:01:16.377903	1379	1379	351	02:01:17.019341	1182	1182
314	02:01:16.393534	1362	1362	352	02:01:17.035016	1122	1122

353	02:01:17.055624	1144	1144
354	02:01:17.083991	1153	1153
355	02:01:17.099754	1117	1117
356	02:01:17.115653	1149	1149
357	02:01:17.132161	1127	1127
358	02:01:17.148830	1137	1137
359	02:01:17.164583	1151	1151
360	02:01:17.180396	1121	1121
361	02:01:17.196085	1157	1157
362	02:01:17.211767	1162	1162
363	02:01:17.227527	1141	1141
364	02:01:17.243215	1170	1170
365	02:01:17.259296	1156	1156
366	02:01:17.275096	1174	1174
367	02:01:17.290583	1227	1227
368	02:01:17.306497	1186	1186
369	02:01:17.329830	1212	1212
370	02:01:17.359328	1227	1227
371	02:01:17.375268	1206	1206
372	02:01:17.390895	1244	1244
373	02:01:17.406660	1235	1235
374	02:01:17.422430	1226	1226
375	02:01:17.441340	1237	1237
376	02:01:17.458133	1178	1178
377	02:01:17.474207	1160	1160
378	02:01:17.490270	1138	1138
379	02:01:17.506274	1069	1069
380	02:01:17.522360	1070	1070
381	02:01:17.538368	1003	1003
382	02:01:17.554393	966	966
383	02:01:17.570926	970	970
384	02:01:17.587449	918	918
385	02:01:17.623898	939	939
386	02:01:17.639635	851	851
387	02:01:17.655309	871	871
388	02:01:17.671680	818	818
389	02:01:17.687394	851	851
390	02:01:17.703054	802	802

391	02:01:17.718835	822	822
392	02:01:17.734398	766	766
393	02:01:17.750113	804	804
394	02:01:17.766454	778	778
395	02:01:17.782145	805	805
396	02:01:17.797912	752	752
397	02:01:17.813559	781	781
398	02:01:17.829241	770	770
399	02:01:17.844927	788	788
400	02:01:17.867494	754	754
401	02:01:17.897910	756	756
402	02:01:17.913676	771	771
403	02:01:17.929750	764	764
404	02:01:17.945683	763	763
405	02:01:17.961280	750	750
406	02:01:17.977487	753	753
407	02:01:17.993116	744	744
408	02:01:18.008770	771	771
409	02:01:18.024444	736	736
410	02:01:18.040117	771	771
411	02:01:18.055692	734	734
412	02:01:18.072148	787	787
413	02:01:18.087758	734	734
414	02:01:18.103297	770	770
415	02:01:18.122691	702	702
416	02:01:18.153315	726	726
417	02:01:18.169682	659	659
418	02:01:18.185592	661	661
419	02:01:18.201292	579	579
420	02:01:18.216964	591	591
421	02:01:18.232599	571	571
422	02:01:18.248612	587	587
423	02:01:18.264410	519	519
424	02:01:18.280688	523	523
425	02:01:18.296230	531	531
426	02:01:18.312020	507	507
427	02:01:18.327737	491	491
428	02:01:18.343460	466	466

429	02:01:18.359107	497	497	467	02:01:19.015811	553	553
430	02:01:18.375585	461	461	468	02:01:19.031174	526	526
431	02:01:18.391979	478	478	469	02:01:19.046971	579	579
432	02:01:18.422098	427	427	470	02:01:19.062311	544	544
433	02:01:18.438332	478	478	471	02:01:19.078253	601	601
434	02:01:18.454291	485	485	472	02:01:19.094162	562	562
435	02:01:18.470361	643	643	473	02:01:19.112434	614	614
436	02:01:18.487002	767	767	474	02:01:19.130629	580	580
437	02:01:18.502956	1014	1014	475	02:01:19.154062	621	621
438	02:01:18.519439	1030	1030	476	02:01:19.176697	587	587
439	02:01:18.535432	898	898	477	02:01:19.211205	635	635
440	02:01:18.551373	741	741	478	02:01:19.243537	608	608
441	02:01:18.567375	594	594	479	02:01:19.258830	630	630
442	02:01:18.583904	581	581	480	02:01:19.274395	580	580
443	02:01:18.599676	525	525	481	02:01:19.290317	576	576
444	02:01:18.615485	523	523	482	02:01:19.305835	560	560
445	02:01:18.631378	446	446	483	02:01:19.321084	539	539
446	02:01:18.647364	462	462	484	02:01:19.336505	513	513
447	02:01:18.669468	395	395	485	02:01:19.351999	474	474
448	02:01:18.701174	415	415	486	02:01:19.367351	467	467
449	02:01:18.717026	344	344	487	02:01:19.383152	434	434
450	02:01:18.732470	380	380	488	02:01:19.399132	437	437
451	02:01:18.748262	351	351	489	02:01:19.414682	386	386
452	02:01:18.763544	387	387	490	02:01:19.430413	401	401
453	02:01:18.779918	338	338	491	02:01:19.445992	362	362
454	02:01:18.795183	390	390	492	02:01:19.461374	398	398
455	02:01:18.810886	366	366	493	02:01:19.477826	356	356
456	02:01:18.826173	398	398	494	02:01:19.505813	384	384
457	02:01:18.841771	372	372	495	02:01:19.521289	343	343
458	02:01:18.857591	396	396	496	02:01:19.536874	389	389
459	02:01:18.873119	398	398	497	02:01:19.552339	336	336
460	02:01:18.889434	396	396	498	02:01:19.567864	375	375
461	02:01:18.905088	379	379	499	02:01:19.583613	325	325
462	02:01:18.920465	381	381	500	02:01:19.599596	375	375
463	02:01:18.953399	442	442	501	02:01:19.615480	358	358
464	02:01:18.968732	456	456	502	02:01:19.630914	401	401
465	02:01:18.984704	505	505	503	02:01:19.646830	357	357
466	02:01:19.000065	504	504	504	02:01:19.662213	395	395



505	02:01:19.678174	386	386
506	02:01:19.693702	416	416
507	02:01:19.710017	410	410
508	02:01:19.725460	420	420
509	02:01:19.741511	450	450
510	02:01:19.769249	453	453
511	02:01:19.784728	469	469
512	02:01:19.800801	441	441
513	02:01:19.816579	465	465
514	02:01:19.832066	436	436
515	02:01:19.847939	490	490
516	02:01:19.863421	463	463
517	02:01:19.879353	500	500
518	02:01:19.894871	460	460
519	02:01:19.911395	488	488
520	02:01:19.927023	448	448
521	02:01:19.943043	482	482
522	02:01:19.958627	410	410
523	02:01:19.974332	432	432
524	02:01:19.989689	376	376
525	02:01:20.006591	397	397
526	02:01:20.034486	351	351
527	02:01:20.050439	368	368
528	02:01:20.065901	363	363
529	02:01:20.082066	365	365
530	02:01:20.097485	351	351
531	02:01:20.113742	337	337
532	02:01:20.130249	360	360
533	02:01:20.146328	349	349
534	02:01:20.161728	352	352
535	02:01:20.177807	325	325
536	02:01:20.193407	346	346
537	02:01:20.210205	296	296
538	02:01:20.225781	371	371
539	02:01:20.241816	397	397
540	02:01:20.257388	585	585
541	02:01:20.278008	750	750
542	02:01:20.307382	1020	1020

543	02:01:20.323063	1068	1068
544	02:01:20.338893	948	948
545	02:01:20.354382	751	751
546	02:01:20.370372	613	613
547	02:01:20.385907	606	606
548	02:01:20.401540	562	562
549	02:01:20.417808	554	554
550	02:01:20.433429	466	466
551	02:01:20.449070	481	481
552	02:01:20.464644	429	429
553	02:01:20.480748	467	467
554	02:01:20.496300	414	414
555	02:01:20.512928	444	444
556	02:01:20.531177	405	405
557	02:01:20.559582	441	441
558	02:01:20.575783	407	407
559	02:01:20.591316	455	455
560	02:01:20.608997	408	408
561	02:01:20.624707	449	449
562	02:01:20.640273	421	421
563	02:01:20.656210	453	453
564	02:01:20.671892	433	433
565	02:01:20.687402	463	463
566	02:01:20.703475	485	485
567	02:01:20.719705	485	485
568	02:01:20.735993	502	502
569	02:01:20.751768	498	498
570	02:01:20.767639	535	535
571	02:01:20.783282	547	547
572	02:01:20.806689	586	586
573	02:01:20.836040	566	566
574	02:01:20.851864	626	626
575	02:01:20.867746	607	607
576	02:01:20.883344	675	675
577	02:01:20.898977	626	626
578	02:01:20.915486	678	678
579	02:01:20.931120	644	644
580	02:01:20.947205	702	702

581	02:01:20.963165	678	678	619	02:01:21.622495	524	524
582	02:01:20.979031	708	708	620	02:01:21.638631	566	566
583	02:01:20.995143	664	664	621	02:01:21.654361	537	537
584	02:01:21.011591	692	692	622	02:01:21.670558	582	582
585	02:01:21.027350	663	663	623	02:01:21.686298	545	545
586	02:01:21.043263	654	654	624	02:01:21.702318	587	587
587	02:01:21.060733	605	605	625	02:01:21.718242	539	539
588	02:01:21.089896	595	595	626	02:01:21.734939	564	564
589	02:01:21.105993	584	584	627	02:01:21.750707	512	512
590	02:01:21.122322	570	570	628	02:01:21.766497	516	516
591	02:01:21.138941	530	530	629	02:01:21.782410	452	452
592	02:01:21.154810	503	503	630	02:01:21.798309	461	461
593	02:01:21.170814	510	510	631	02:01:21.814268	441	441
594	02:01:21.186714	470	470	632	02:01:21.830767	447	447
595	02:01:21.202879	480	480	633	02:01:21.847021	415	415
596	02:01:21.219280	432	432	634	02:01:21.870551	414	414
597	02:01:21.235121	458	458	635	02:01:21.899673	416	416
598	02:01:21.250847	412	412	636	02:01:21.915639	416	416
599	02:01:21.266735	449	449	637	02:01:21.932254	397	397
600	02:01:21.282737	398	398	638	02:01:21.948356	387	387
601	02:01:21.298584	432	432	639	02:01:21.964139	406	406
602	02:01:21.315217	383	383	640	02:01:21.979846	377	377
603	02:01:21.338238	426	426	641	02:01:21.995764	381	381
604	02:01:21.367648	389	389	642	02:01:22.011887	335	335
605	02:01:21.383556	431	431	643	02:01:22.028563	402	402
606	02:01:21.399487	397	397	644	02:01:22.044438	433	433
607	02:01:21.416020	442	442	645	02:01:22.060086	617	617
608	02:01:21.432027	422	422	646	02:01:22.076064	768	768
609	02:01:21.447999	465	465	647	02:01:22.092068	1031	1031
610	02:01:21.463835	434	434	648	02:01:22.108433	1020	1020
611	02:01:21.479845	452	452	649	02:01:22.124079	891	891
612	02:01:21.495354	467	467	650	02:01:22.141932	721	721
613	02:01:21.511251	479	479	651	02:01:22.170827	605	605
614	02:01:21.527610	484	484	652	02:01:22.186773	584	584
615	02:01:21.543590	484	484	653	02:01:22.202662	539	539
616	02:01:21.559663	521	521	654	02:01:22.218470	515	515
617	02:01:21.575465	506	506	655	02:01:22.234850	451	451
618	02:01:21.593144	538	538	656	02:01:22.250608	460	460

657	02:01:22.266547	414	414
658	02:01:22.281997	433	433
659	02:01:22.297523	373	373
660	02:01:22.313042	421	421
661	02:01:22.328801	372	372
662	02:01:22.345216	405	405
663	02:01:22.360937	354	354
664	02:01:22.376915	387	387
665	02:01:22.392807	375	375
666	02:01:22.409283	410	410
667	02:01:22.440236	372	372
668	02:01:22.456094	407	407
669	02:01:22.472036	400	400
670	02:01:22.487714	430	430
671	02:01:22.503634	405	405
672	02:01:22.519477	422	422
673	02:01:22.535327	445	445
674	02:01:22.551639	453	453
675	02:01:22.567588	474	474
676	02:01:22.583301	469	469
677	02:01:22.599424	516	516
678	02:01:22.615329	508	508
679	02:01:22.630930	559	559
680	02:01:22.647239	536	536
681	02:01:22.662847	592	592
682	02:01:22.679329	562	562
683	02:01:22.707269	618	618
684	02:01:22.723448	585	585
685	02:01:22.739475	633	633
686	02:01:22.755895	585	585
687	02:01:22.772034	634	634
688	02:01:22.787652	603	603
689	02:01:22.803653	622	622
690	02:01:22.819336	571	571
691	02:01:22.835360	585	585
692	02:01:22.851591	550	550
693	02:01:22.867476	538	538
694	02:01:22.883412	493	493

695	02:01:22.899476	467	467
696	02:01:22.915114	464	464
697	02:01:22.930793	436	436
698	02:01:22.954741	409	409
699	02:01:22.984014	370	370
700	02:01:22.999770	394	394
701	02:01:23.015594	356	356
702	02:01:23.031649	376	376
703	02:01:23.047904	328	328
704	02:01:23.064818	359	359
705	02:01:23.081070	314	314
706	02:01:23.097195	355	355
707	02:01:23.113440	306	306
708	02:01:23.129581	346	346
709	02:01:23.146675	301	301
710	02:01:23.163407	346	346
711	02:01:23.179725	312	312
712	02:01:23.195809	338	338
713	02:01:23.212907	313	313
714	02:01:23.243094	347	347
715	02:01:23.259828	343	343
716	02:01:23.276137	364	364
717	02:01:23.292399	342	342
718	02:01:23.308841	350	350
719	02:01:23.324910	370	370
720	02:01:23.341240	376	376
721	02:01:23.358063	388	388
722	02:01:23.374329	373	373
723	02:01:23.390520	405	405
724	02:01:23.406746	388	388
725	02:01:23.422987	430	430
726	02:01:23.439521	404	404
727	02:01:23.455623	453	453
728	02:01:23.482535	424	424
729	02:01:23.534098	468	468
730	02:01:23.558467	427	427
731	02:01:23.576581	460	460
732	02:01:23.592512	402	402

733	02:01:23.608416	427	427	771	02:01:24.240775	353	353
734	02:01:23.623984	365	365	772	02:01:24.256640	321	321
735	02:01:23.639995	373	373	773	02:01:24.273432	367	367
736	02:01:23.655528	309	309	774	02:01:24.289251	328	328
737	02:01:23.672150	324	324	775	02:01:24.312087	380	380
738	02:01:23.688331	309	309	776	02:01:24.340584	338	338
739	02:01:23.704862	310	310	777	02:01:24.356222	385	385
740	02:01:23.720586	279	279	778	02:01:24.372305	349	349
741	02:01:23.736332	285	285	779	02:01:24.388463	405	405
742	02:01:23.751966	292	292	780	02:01:24.404205	388	388
743	02:01:23.772301	283	283	781	02:01:24.419975	435	435
744	02:01:23.800722	276	276	782	02:01:24.436431	410	410
745	02:01:23.816593	257	257	783	02:01:24.451990	459	459
746	02:01:23.832549	277	277	784	02:01:24.467644	468	468
747	02:01:23.847972	250	250	785	02:01:24.483713	510	510
748	02:01:23.863384	262	262	786	02:01:24.499372	493	493
749	02:01:23.879363	231	231	787	02:01:24.514921	521	521
750	02:01:23.894951	319	319	788	02:01:24.530620	542	542
751	02:01:23.910705	388	388	789	02:01:24.546062	559	559
752	02:01:23.926216	619	619	790	02:01:24.561601	568	568
753	02:01:23.942047	792	792	791	02:01:24.596298	559	559
754	02:01:23.957687	992	992	792	02:01:24.611938	605	605
755	02:01:23.974144	883	883	793	02:01:24.627492	580	580
756	02:01:23.989846	787	787	794	02:01:24.643592	611	611
757	02:01:24.005722	584	584	795	02:01:24.659047	579	579
758	02:01:24.021251	520	520	796	02:01:24.674652	611	611
759	02:01:24.037829	462	462	797	02:01:24.690688	565	565
760	02:01:24.066168	465	465	798	02:01:24.706319	595	595
761	02:01:24.082518	419	419	799	02:01:24.721835	525	525
762	02:01:24.098483	398	398	800	02:01:24.737626	538	538
763	02:01:24.114076	348	348	801	02:01:24.753118	466	466
764	02:01:24.129864	351	351	802	02:01:24.768905	482	482
765	02:01:24.145908	344	344	803	02:01:24.785023	444	444
766	02:01:24.161666	328	328	804	02:01:24.800648	455	455
767	02:01:24.177963	340	340	805	02:01:24.816130	396	396
768	02:01:24.193585	321	321	806	02:01:24.839325	406	406
769	02:01:24.209369	342	342	807	02:01:24.868147	388	388
770	02:01:24.224963	321	321	808	02:01:24.884348	388	388

809	02:01:24.900220	358	358
810	02:01:24.915764	353	353
811	02:01:24.931403	364	364
812	02:01:24.947037	354	354
813	02:01:24.962671	353	353
814	02:01:24.983696	331	331
815	02:01:25.007937	357	357
816	02:01:25.031749	339	339
817	02:01:25.055030	371	371
818	02:01:25.077008	333	333
819	02:01:25.093339	378	378
820	02:01:25.127445	341	341
821	02:01:25.144150	395	395
822	02:01:25.160325	348	348
823	02:01:25.176314	400	400
824	02:01:25.192095	353	353
825	02:01:25.208320	419	419
826	02:01:25.224006	371	371
827	02:01:25.239970	406	406
828	02:01:25.255424	362	362
829	02:01:25.271324	410	410
830	02:01:25.286807	399	399
831	02:01:25.303297	422	422
832	02:01:25.319045	399	399
833	02:01:25.334982	419	419
834	02:01:25.350449	410	410
835	02:01:25.367132	442	442
836	02:01:25.395161	452	452
837	02:01:25.411148	434	434
838	02:01:25.427162	471	471
839	02:01:25.443182	449	449
840	02:01:25.458967	473	473
841	02:01:25.475179	436	436
842	02:01:25.490650	473	473
843	02:01:25.507183	417	417
844	02:01:25.522928	443	443
845	02:01:25.538564	363	363
846	02:01:25.554329	385	385

847	02:01:25.570302	319	319
848	02:01:25.585826	360	360
849	02:01:25.601285	318	318
850	02:01:25.617322	345	345
851	02:01:25.641359	287	287
852	02:01:25.669004	317	317
853	02:01:25.684571	294	294
854	02:01:25.700473	322	322
855	02:01:25.716875	282	282
856	02:01:25.732655	290	290
857	02:01:25.748398	301	301
858	02:01:25.764164	279	279
859	02:01:25.779887	277	277
860	02:01:25.795671	278	278
861	02:01:25.811975	376	376
862	02:01:25.827426	502	502
863	02:01:25.843297	735	735
864	02:01:25.858979	909	909
865	02:01:25.874801	999	999
866	02:01:25.890603	847	847
867	02:01:25.913230	717	717
868	02:01:25.941269	535	535
869	02:01:25.956795	533	533
870	02:01:25.973379	470	470
871	02:01:25.989986	478	478
872	02:01:26.005803	405	405
873	02:01:26.022038	418	418
874	02:01:26.037626	359	359
875	02:01:26.053220	380	380
876	02:01:26.069051	362	362
877	02:01:26.084734	372	372
878	02:01:26.100531	352	352
879	02:01:26.116768	348	348
880	02:01:26.132585	352	352
881	02:01:26.148846	357	357
882	02:01:26.164685	360	360
883	02:01:26.198458	344	344
884	02:01:26.214144	385	385

885	02:01:26.230196	364	364	923	02:01:26.857738	371	371
886	02:01:26.245866	393	393	924	02:01:26.873341	338	338
887	02:01:26.261307	358	358	925	02:01:26.888834	349	349
888	02:01:26.276879	407	407	926	02:01:26.904762	367	367
889	02:01:26.292316	386	386	927	02:01:26.920433	361	361
890	02:01:26.308431	443	443	928	02:01:26.936693	368	368
891	02:01:26.324507	408	408	929	02:01:26.952637	349	349
892	02:01:26.340332	469	469	930	02:01:26.969216	383	383
893	02:01:26.355837	427	427	931	02:01:26.98258	363	363
894	02:01:26.371665	495	495	932	02:01:27.014306	393	393
895	02:01:26.387374	479	479	933	02:01:27.030279	355	355
896	02:01:26.403397	534	534	934	02:01:27.046523	405	405
897	02:01:26.418995	501	501	935	02:01:27.062159	363	363
898	02:01:26.435853	548	548	936	02:01:27.077941	412	412
899	02:01:26.464061	549	549	937	02:01:27.093579	372	372
900	02:01:26.479760	572	572	938	02:01:27.109584	409	409
901	02:01:26.495607	565	565	939	02:01:27.125446	362	362
902	02:01:26.511299	581	581	940	02:01:27.141944	416	416
903	02:01:26.527912	598	598	941	02:01:27.158239	392	392
904	02:01:26.543594	603	603	942	02:01:27.173900	438	438
905	02:01:26.559262	596	596	943	02:01:27.189803	396	396
906	02:01:26.575041	577	577	944	02:01:27.205909	430	430
907	02:01:26.590670	610	610	945	02:01:27.221693	419	419
908	02:01:26.607654	577	577	946	02:01:27.239233	452	452
909	02:01:26.623139	594	594	947	02:01:27.267722	450	450
910	02:01:26.639540	534	534	948	02:01:27.283956	459	459
911	02:01:26.655045	545	545	949	02:01:27.299891	472	472
912	02:01:26.670824	484	484	950	02:01:27.315854	477	477
913	02:01:26.686350	513	513	951	02:01:27.331825	478	478
914	02:01:26.702958	439	439	952	02:01:27.348313	455	455
915	02:01:26.731362	464	464	953	02:01:27.364057	474	474
916	02:01:26.746984	394	394	954	02:01:27.379914	427	427
917	02:01:26.762871	429	429	955	02:01:27.395495	431	431
918	02:01:26.778951	377	377	956	02:01:27.411256	368	368
919	02:01:26.794734	401	401	957	02:01:27.429550	392	392
920	02:01:26.810453	344	344	958	02:01:27.445872	342	342
921	02:01:26.826030	376	376	959	02:01:27.461911	382	382
922	02:01:26.842253	351	351	960	02:01:27.477629	329	329

961	02:01:27.493843	365	365
962	02:01:27.514376	311	311
963	02:01:27.543989	356	356
964	02:01:27.559815	313	313
965	02:01:27.575368	342	342
966	02:01:27.590898	298	298
967	02:01:27.606706	323	323
968	02:01:27.622258	308	308
969	02:01:27.638019	320	320
970	02:01:27.654130	302	302
971	02:01:27.669896	361	361
972	02:01:27.685466	485	485
973	02:01:27.701230	662	662
974	02:01:27.716915	890	890
975	02:01:27.732765	1010	1010
976	02:01:27.749207	949	949
977	02:01:27.765652	758	758
978	02:01:27.794232	639	639
979	02:01:27.810115	536	536
980	02:01:27.826248	568	568

981	02:01:27.842235	493	493
982	02:01:27.858565	497	497
983	02:01:27.874359	430	430
984	02:01:27.890193	451	451
985	02:01:27.906026	397	397
986	02:01:27.921842	408	408
987	02:01:27.937665	401	401
988	02:01:27.953886	429	429
989	02:01:27.969698	396	396
990	02:01:27.985360	397	397
991	02:01:28.001209	406	406
992	02:01:28.017061	428	428
993	02:01:28.037781	435	435
994	02:01:28.066101	414	414
995	02:01:28.081860	447	447
996	02:01:28.097648	430	430
997	02:01:28.114992	478	478
998	02:01:28.130827	444	444
999	02:01:28.146615	494	494
1000	02:01:28.163211	456	456

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....



## BIODATA PENULIS



Gde Bayu Adityaputra merupakan anak kedua dari pasangan Made Sumarta dan BS. Murniati yang dilahirkan pada hari Senin, 15 April 1996 di Jakarta. Penulis memiliki dua saudara kandung yaitu kakak perempuan yang bernama Putu Ayu Puspita dan adik perempuan yang bernama Ayu Komang Damayanti.

Meskipun kedua orang tua berasal dari daerah Bali dan Yogyakarta, penulis sebagian besar menghabiskan masa kecilnya di kota Tangerang Selatan, Banten. Sejak kecil, penulis sudah tertarik pada hal-hal baru terutama pada dunia elektronik.

Penulis memulai jenjang pendidikan formal di kota Tangerang Selatan dimulai dari TK Ananda Universitas Terbuka (UT) (2000-2002), SD Dharma Karya UT (2002-2007), kemudian melanjutkan pendidikan ke kota Jakarta di SDN Pondok Labu 05 (2008), SMPN 85 Jakarta (2008-2011), SMAN 34 Jakarta (2011-2014). Setelah lulus pendidikan dasar, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember guna mendapatkan gelar sarjana.

Selama menjalani perkuliahan, penulis juga cukup aktif dalam kegiatan berorganisasi di lingkungan kampus. Kegiatan organisasi yang diikuti penulis antara lain Badan Eksekutif Mahasiswa tingkat institut sebagai staff vivatpress dan juga menjadi kepala departemen internal UKM VSNMC.

Bergabung menjadi bagian anggota dari Laboratorium Elektronika Dasar B202 pada semester 5 ketika mulai mengambil mata kuliah di bidang elektronika. Pada saat pengerjaan tugas akhir, penulis mengambil konsentrasi Elektronika Biomedika di Laboratorium Elektronika Biomedika B205.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....